

Metallimalmikaivostoiminnan parhaat ympäristökäytännöt

Päivi Kauppila, Marja Liisa Räisänen ja Sari Myllyoja (toim.)



Metallimalmikaivostoiminnan parhaat ympäristökäytännöt

Päivi Kauppila, Marja Liisa Räisänen ja Sari Myllyoja (toim.)

Helsinki 2011

Suomen ympäristökeskus



S Y K E

SUOMEN YMPÄRISTÖ 29 | 2011
Suomen ympäristökeskus

Kansikuva: Kemin kaivos, Outokumpu Oyj

Taitto: DTPage Oy

Julkaisu on saatavana myös internetistä:
www.ymparisto.fi/julkaisut

Edita Prima Oy, Helsinki 2011

ISBN 978-952-11-3941-3 (nid.)
ISBN 978-952-11-3942-0 (PDF)
ISSN 1238-7312 (pain.)
ISSN 1796-1637 (verkkokoj.)



ESIPUHE

Kaivostoiminnan parhaat ympäristökäytännöt julkaisun tavoitteena on ollut yhteisen tietopohjan tuottaminen metallimalmikaivostoiminnan hyvistä ympäristökäytännöistä sekä lainsäädännön ja hallintomenettelyjen huomioimisesta ympäristöasioissa toiminnan eri elinkaaren vaiheissa. Julkaisun kohderyhmänä ovat ensisijaisesti kaivostoiminnanharjoittajat, viranomaiset, alan konsultit ja muut alasta kiinnostuneet.

Julkaisu on laadittu yhteistyössä Kaivannaisteollisuus ry:n (KT ry), Geologian tutkimuskeskuksen (GTK) ja ympäristöhallinnon kanssa (Kainuun ja Lapin elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskukset [KAIELY, LAPELY], Pohjois-Suomen aluehallintovirasto [PSAVI] ja Suomen ympäristökeskus [SYKE]). Työtä ovat rahoittaneet osallistujajärjestöjen lisäksi K.H. Renlundin Säätiö ja Työ- ja elinkeinoministeriö (TEM).

Julkaisun laatimista on valvonut ohjausryhmä, jonka jäseninä ovat olleet: Alec Estlander (K.H. Renlundin säätiö), Kari Pääkkönen (KAIELY), Hannu Idman (GTK), Heikki Kovalainen (KT ry 1.3.2011 asti), Olavi Paatsola (KT ry), Juhani Itkonen (LAPELY/1.1.2011 alkaen PSAVI), Riikka Aaltonen (TEM), Sami Koivula (PSAVI), Timo Jouttijärvi (SYKE), Kimmo Silvo (SYKE) sekä Irina Hakala (SYKE).

Työn toteutuksesta on vastannut työryhmä, jonka puheenjohtajana on toiminut Sari Myllyoja (Kainuun KAIELY) ja sihteerinä Timo Jouttijärvi (SYKE). Työryhmän jäseninä ovat olleet Päivi Kauppila (GTK), Marja Liisa Räisänen (GTK/1.10.2010 alkaen KAIELY), Sami Koivula (PSAVI), Juhani Itkonen (LAPELY/PSAVI), Erkki Kuronen (KT ry / Mondo Minerals B. V. Branch Finland), ja Päivi Mannila (Kemira Oyj). Julkaisun ovat toimittaneet Päivi Kauppila, Marja Liisa Räisänen ja Sari Myllyoja.

Lukujen kirjoittajat ovat: Luku 1 Päivi Kauppila, Timo Jouttijärvi, Sami Koivula ja Olavi Paatsola; Luku 2 Matti Himmi (KT ry), Päivi Kauppila, Maria Nikkarinen (GTK), Anna Tornivaara (GTK) ja Sami Koivula; Luku 3 Sami Koivula, Juhani Itkonen, Timo Jokelainen (LAPELY), Taina Kojola (LAPELY), Liinu Törvi (LAPELY), Johanna Juvonen (TEM), Päivi Kauppila, Eriikka Melkas (TEM), Sari Myllyoja, Heidi Karjalainen (Pyhäsalmi Mine Oy) ja Tuomas Vanhanen (Talvivaara Mining Company Plc); Luku 4 Matti Himmi, Päivi Kauppila, Kalle Reinikainen (Pöyry Finland Oy), Maria Nikkarinen ja Anna Tornivaara; Luku 5 Päivi Kauppila, Marja Liisa Räisänen, Timo Regina (KAIELY), Maria Nikkarinen ja Sami Koivula; Luku 6 Matti Himmi, Marja Liisa Räisänen, Päivi Kauppila ja Sami Koivula; Luku 7 Sari Myllyoja, Matti Himmi ja Marja Liisa Räisänen; Luku 8 Marja Liisa Räisänen, Päivi Kauppila, Juhani Itkonen, Sami Koivula, Maria Nikkarinen, Erkki Kuronen, Timo Regina ja Ilkka Haataja (KAIELY). Liitteen 1 kaivoskuvaukset ovat laatineet Anna-Leena Pitsinki (Agnico-Eagle Ltd / nyk. LAPELY), Veikko Neijonen (Outokumpu Oyj), Heikki Kovalainen (Talvivaara Sotkamo Oy), Heimo Pöyry (Polar Mining), Vesa-Pekka Takalo (Polar Mining), Petteri Tanner (Polar Mining) ja Päivi Kauppila (GTK). Liitteen 2 on kirjoittanut Päivi Mannila, liitteet 3, 4 ja 5 Päivi Kauppila, ja liitteen 6 Marja Liisa Räisänen.

LYHENTEET

AUTOG	Autogeeninen mylly
BAT	Best Available Techniques (parhaat käytettävissä olevat tekniikat)
BEP	Best Environmental Practices (parhaat ympäristökäytännöt)
BOD ₇	biokemiallinen hapen kulutus, allyyliourealisäykseen pohjautuva menetelmä
CLP	Classification, Labelling and Packaging of substances and mixtures (CLP-asetus)
CMC	Karboksimetyyliselluloosa
COD _{Cr}	kemiallinen hapen kulutus, dikromaattihapetukseen perustuva
COD _{Mn}	kemiallinen hapenkulutus, kaliumpermanganaatti-menetelmään perustuva
CPE	kloorattu polyetyleni (chlorinated polyethylene)
DePont™	klorosulfonoitu polyetyleni (chlorosulphonated polyethylene)
HYPALON®	
EFF	Electronic Frontier Foundation (sähkömoottoreiden tehokkuusluokka)
E-PRTR	European Pollutant Release and Transfer Register
GCLs	geosyntetinen savikalvo (sisältää kationinvaihtokykyistä Na-bentoniittia)
HDPE	suuren tiheyden omaava polyetyleni (high-density polyethylene)
IP	Induced Polarisation (indusoitu polarisaatio -mittausmenetelmä)
IRR	International Rate of Return
JORC code	Joint Ore Reserves Committee Code
KHO	Korkein hallinto-oikeus
LLDPE	lineaarinen, alhaisen tiheyden omaava polyetyleni (linear low-density polyethylene)
LSL	Luonnonsuojelulaki
MIBC	Metyyli-isobutylikarbinoli
MMI	Mobile Metal Ion (heikosti sitoutuneiden metallien määrittämismenetelmä)
NI	National Instrument
NPV	Net Present Value
PE	polyetyleni
PVC	polyvinyylikloridi (polyvinyl chloride)
REACH	Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals
SAG	Puoliautogeeninen mylly (läpimitta 12 m, käyttövoima 12 MW)
SCI-alue	Lajien elinympäristö
SPA-alue	Alueella säännöllisesti esiintyvien muuttolintujen elinympäristö
SP	Self Potential (omapotentiaali- mittausmenetelmä)
UCVB	Substance of Unknown or Variable composition, Complex reaction products or Biological materials
VaHO	Vaasan hovioikeus
VNA	Valtioneuvoston asetus
VNp	Valtioneuvoston päätös
VSD	Variable-speed drives (taajuusmuuttuja)
YEL	Ydinenergialaki
YSA	Ympäristönsuojeluasetus
YSL	Ympäristönsuojelulaki
YVA	Ympäristövaikutusten arviointi

SISÄLLYS

Esipuhe	3
Lyhenteet	4
I Johdanto	9
1.1 Julkaisun tavoitteet ja rajaukset	10
2 Metallimalmikaivostoiminnan elinkaari ja käytössä olevat prosessit	12
2.1 Malminetsintä	13
2.1.1 Malminetsintämenetelmät	13
2.2 Kaivoksen avaaminen ja rakennusvaihe	16
2.3 Kaivoksen tuotantovaihe prosessivaiheittain	18
2.3.1 Louhinta ja malmin kuljetus	19
2.3.2 Murskaus ja seulonta	22
2.3.3 Jauhatus	24
2.3.4 Rikastus	26
2.3.4.1 Vaahdotus	26
2.3.4.2 Ominaispainoerotus	28
2.3.4.3 Liuotusmenetelmät	29
2.3.4.4 Magneettierotus	31
2.3.5 Rikasteen kuivaus, varastointi ja kuljetus	31
2.3.6 Energiankulutus ja sen tehokkuus	32
2.3.7 Veden käyttö	34
2.3.8 Tarveaineiden kulutus	36
2.4 Kaivoksen sulkeminen ja jälkihoito	36
3 Kaivostoimintaa koskeva lainsäädäntö	40
3.1 Kaivoslain mukaiset luvat ja menettelyt	42
3.1.1 Malminetsintä	42
3.1.2 Varaus	43
3.1.3 Kaivostoiminta	44
3.2 YVA-, luonnonsuojelu-, ympäristönsuojelu-, vesi- sekä maankäyttö- ja rakennuslakien mukaiset luvat ja menettelyt	46
3.2.1 Toiminnanharjoittajan yleinen selvilläolovelvollisuus	46
3.2.1.1 Koetoimintailmoitus	46
3.2.2 Ympäristövaikutusten arviointi	47
3.2.3 Natura-arviointi	48
3.2.4 Luonnonsuojelulain mukaiset luvat	49
3.2.4.1 Lajien suojelu	49
3.2.4.2 Luontotyyppien suojelu	53
3.2.5 Ympäristö- ja vesitalouslupa	53
3.2.5.1 Kaivannaisjäteasiat	55
3.2.5.2 Vesitalousasiat	56
3.2.5.3 Patoturvallisuusasiat	57
3.2.6 Maankäyttö- ja rakennuslain mukaiset luvat ja menettelyt	57
3.2.6.1 Maakuntakaava	58
3.2.6.2 Yleiskaava ja asemakaava	58
3.2.6.3 MRL:n mukaiset rakentamisen luvat	59
3.3 Ydinenergialaki	59
3.4 REACH	61
3.4.1 REACH kaivosteollisuuden näkökulmasta	61

4	Toiminnan päästöt ja ympäristövaikutukset.....	63
4.1	Metallimalmikaivosten ympäristögeologia	63
4.2	Kaivostoiminnasta aiheutuvat päästöt	69
4.2.1	Päästöt malminetsintävaiheessa	69
4.2.2	Päästöt kaivoksen rakentamisvaiheessa	69
4.2.3	Päästöt tuotantovaiheessa.....	70
4.2.3.1	Ilmaan kohdistuvat päästöt	71
4.2.3.2	Päästöt vesiin	74
4.2.3.3	Muodostuvat jätteet ja niistä aiheutuvat päästöt.....	77
4.2.3.4	Melu ja värinä	81
4.2.4	Päästöt kaivoksen sulkemis- ja jälkihoitovaiheessa	82
4.3	Ympäristövaikutukset	83
4.3.1	Vaikutukset luonnonympäristöön.....	83
4.3.1.1	Malminetsinnän vaikutukset luonnonympäristöön	83
4.3.1.2	Kaivoksen perustamisen vaikutukset luonnonympäristöön	85
4.3.1.3	Toiminnan aikaiset vaikutukset luonnonympäristöön.....	87
4.3.1.4	Sulkemisen jälkeiset vaikutukset luonnonympäristöön	88
4.3.2	Sosiaaliset vaikutukset.....	90
5	Ympäristöselvitykset	92
5.1	Perustilaselvitys.....	92
5.2	Ympäristövaikutusten selvittäminen	93
5.2.1	Ympäristövaikutusten arviointi	94
5.2.2	Natura-arviointi.....	96
5.2.3	Ympäristöriskinarviointi.....	99
5.2.4	Nykytilaselvitys.....	101
5.3	Vesipäästöjen laadun ja puhdistustarpeen arviointi.....	102
5.4	Metallimalmikaivostoiminnan kaivannaisjätteisiin liittyvät ympäristöselvitykset	105
5.4.1	Jätehuoltosuunnitelma.....	105
5.4.2	Kaivannaisjätteiden karakterisointi.....	106
5.4.3	Läjitysalueiden valinta ja suunnittelu	107
5.4.3.1	Jätealueiden maapohjatutkimukset ja pohjarakenteet.....	108
5.4.4	Kaivospatorakenteet ja niihin liittyvät selvitykset.....	111
5.4.4.1	Kaivospatojen rakenteet	111
5.4.4.2	Kaivospatojen korottaminen.....	114
5.4.4.3	Tutkimukset padon suunnittelun ja rakentamisen aikana	115
5.4.4.4	Patojen suunnitteluvaatimukset.....	116
5.4.4.5	Kaivospatojen turvallisuus	117
6	Päästöjen ja ympäristövaikutusten vähentämistekniikat.....	118
6.1	Kaivoksen rakentamisaikaisten päästöjen vähentäminen	119
6.2	Kaivoksen toiminnan aikaisten päästöjen vähentäminen.....	119
6.2.1	Ilmaan kohdistuvat päästöt	119
6.2.1.1	Louhintaa ja malmin kuljetus	121
6.2.1.2	Murskaus ja seulonta.....	121
6.2.1.3	Rikastus	121
6.2.1.4	Rikasteiden lastaus ja kuljetus.....	122
6.2.2	Päästöt vesiin.....	122
6.2.2.1	Jätevesien puhdistusmenetelmät.....	125
6.2.2.2	Louhinnan vesipäästöt	127
6.2.2.3	Rikastuksen vesipäästöt	127

6.2.3	Kaivannaisjätealueiden päästöjen vähentämistekniikat.....	128
6.2.3.1	Jätealueiden pölypäästöt.....	129
6.2.3.2	Jätealueiden vesipäästöt	130
6.2.3.3	Kaivospatojen vesi- ja pölypäästöt sekä patovaurioiden ennaltaehkäisy.....	130
6.2.4	Melupäästöt ja tärinä	131
6.2.5	Energiankulutus	133
6.3	Päästöjen vähentäminen toiminnan päättymisen jälkeen	134
6.3.1	Kaivannaisjätealueiden päästöt.....	134
6.3.2	Louhosten vesipäästöt	136
6.4	Sosiaalisten vaikutusten vähentäminen kaivostoiminnan suunnittelun ja toteutuksen aikana	138
7	Toiminnan tarkkailu ja raportointi.....	140
7.1	Rakentamisen aikainen tarkkailu	141
7.2	Käyttötarkkailu.....	141
7.3	Päästötarkkailu	143
7.4	Ympäristövaikutusten tarkkailu	144
7.5	Raportointi ja laadun varmistus	146
8	Metallimalmikaivostoiminnan parhaat ympäristökäytännöt	147
8.1	Parhaat käytännöt kaivoshankkeen suunnittelussa ja hallinnollisissa menettelyissä	147
8.1.1	Valvonta ja tarkkailu – toiminnanharjoittajan vastuut ja velvoitteet.....	149
8.1.1.1	Ilmaan kohdistuvien päästöjen, melun ja tärinän tarkkailu	150
8.1.1.2	Jätevesipäästöjen tarkkailu	150
8.1.2	Kaivospatojen suunnittelu, luvitus ja vahingonvaaraselvitys.....	150
8.1.2.1	Kaivospatojen käyttöönotto, tarkkailu ja käyttöönoton lakkauttaminen	151
8.2	Malminetsintä.....	152
8.3	Kaivoksen perustaminen ja tuotantovaihe.....	153
8.3.1	Kestävä kehitys ja kaivostoiminta.....	153
8.3.2	Kaivostoiminnan suunnittelu ja rakentamisvaihe	154
8.3.2.1	Jätealueiden BEP-suunnittelu	156
8.3.2.2	Läjitysalueiden BAT-pohjarakenteet.....	162
8.3.2.3	Kaivospatojen BAT-rakenteet.....	162
8.3.2.4	Vesien hallinta ja puhdistusmenetelmät.....	164
8.3.3	Kaivostoiminnan tuotantovaihe	165
8.3.3.1	Kaivannaisjätteiden ja jätealueiden päästöjen hallinta ja vähentäminen	170
8.3.3.2	Vesien hallinta ja puhdistusmenetelmät.....	171
8.3.3.3	Patojen korotus	173
8.4	Kaivoksen sulkeminen ja jälkihoito	173
8.4.1	Läjitysalueiden sulkeminen ja jälkihoito	174
8.4.1.1	Jätealueiden maisemointi, peittorakenteet ja vesien hallinta ja käsittely	175
8.4.2	Louhosalueiden jälkihoito.....	179

Lähteet	181
Liitteet	186
1. Suomessa toimivat metallimalmikaivokset.....	186
2. REACH.....	199
3. Taulukoissa 15 ja 16 esitettyjen mineraalien kaavat	201
4. Esimerkki perustilaselvityksen sisällöstä	202
5. Esimerkki Natura-arvioinnin sisällöstä	203
6. Kaivannaisjätteiden näytteenottomenetelmät ja ominaisuuksien määrittämenetelmät.....	204

1 Johdanto

Kaivostoiminnalla on Suomessa pitkät perinteet. Ensimmäiset rautakaivokset aloittivat toimintansa Etelä-Suomessa jo 1560-luvulla. Sittenmin Suomessa on louhitu metallimalmeja sekä teollisuusmineraaleja yhteensä yli tuhannesta kaivoksesta (Puustinen 2003). Kaivostoiminta on nykypäivän Suomessa kasvava teollisuudenala, joka tuottaa tarpeellisia raaka-aineita mm. metalli-, kemian- ja paperiteollisuudelle, maataloudelle sekä lukuisille muille toimialoille. Suomessa toimii tällä hetkellä nelisenkymmentä kaivosta, joista kymmenkunta tuottaa jalo- tai perusmetalleja (mm. kultaa, kromia, nikkeliä, kuparia ja sinkkiä) – ja lopuista louhitaan teollisuusmineraaleja (esim. apatiittia, talkkia ja kalkkikiveä) (Liite 1). Toimivien kaivosten ohella Etelä-, Itä- ja Pohjois-Suomeen on suunnitteilla useita uusia metallimalmi- ja teollisuusmineraalikaivoksia, esimerkiksi kultakaivoksia eri puolelle maata sekä apatiittikaivos Itä-Lappiin. Perusmetallien lisääntyvän tarpeen ohella riippuvaisuus nk. high-tech-metallien (mm. harvinaisten maametallien) saannista kasvaa, mikä on lisännyt myös niiden malminetsintää Suomessa (TEM 2010). Eurooppalaisesta näkökulmasta Suomen kallioperän rikkaudet ovat merkittäviä, sillä ne lisäävät Euroopan mineraali- ja metallituotannon omavaraisuutta. Teollisuusmineraalien tuotannossa Suomi lukeutuukin Euroopan suurimmaksi tuottajaksi.

Metallikaivossektorin tuotanto on Suomessa ollut alan pitkäaikaisen laman jälkeen voimakkaassa nousussa vuodesta 2009 alkaen. Ennusteiden mukaan metallikaivosten hyötykiven louhinta tulee kasvamaan aiemmasta 4 miljoonasta tonnista jopa 70 miljoonaan tonniin vuosikymmenen kuluessa. Kaivannaisala työllistää tällä hetkellä suoraan 6 000–10 000 henkeä ja koko kaivannaisteollisuus välillisesti yli 30 000 henkeä (Hernesniemi *et al.* 2011). Aiempien esimerkkien pohjalta louhinnan kasvulla tulee olemaan merkittävä vaikutus teknologiateollisuuden ja metallinjalostusteollisuuden kehittymiselle ja koko Suomen kansantaloudelle, mm. voimakkaan välillisen työllistävyyden kautta. Suomessa on esimerkkinä aiempien kaivosten vaikutuksesta lähemmäs kymmenen merkittävää teollisuuden ja metallinjalostuksen keskittymää, erityisesti rannikolla. Sisämaassa on puolestaan useita teollisuusmineraalien tai koneenrakennuksen ympärille rakentuneita, kaivosteollisuuteen pohjaavia keskittymiä. Monet näistä tunnetaan nykyisin teknologiapuistoina, joissa alkuperäinen toiminta on yhä merkittävä tekijä, mutta joissa alkuperäistä toimintaa ja uusia teollisuuden aloja palvelevat toiminnot ovat nousseet tärkeään rooliin.

Kaivostoiminta vaikuttaa kuitenkin väijäämättömästi ympäristöönsä. Kielteisten ympäristövaikutusten ehkäiseminen edellyttää ympäristöasioiden hyvää hallintaa malminetsinnästä ja kaivoksen suunnittelusta alkaen – läpi toiminnan elinkaaren – kaivoksen sulkemiseen ja jälkihoitoon asti. Toiminnan ympäristövaikutuksia säädellessään ympäristön pilaantumisen ehkäisemiseksi ja päästöjen vähentämiseksi mm. ympäristö- ja kaivoslainsäädännöllä. Niistä erityisesti ympäristönsuojelulaki ja -asetus edellyttävät parhaan käyttökelpoisen tekniikan (BAT, Best Available Techniques) ja ympäristön kannalta parhaan käytännön (BET, Best Environmental Practice) soveltamista toiminnassa, joka voi aiheuttaa ympäristön pilaantumisen vaaraa.

Euroopan IPCC-toimisto on laatinut erillisen BAT-vertailuasiakirjan kaivosten sivukivien ja rikastushiekan käsittelyn parhaista käyttökelpoista tekniikoista (EC 2009). Lisäksi kaivostoiminnan parhaista ympäristökäytännöistä on saatavilla kansainvälisiä ohjeistuksia eri maista (esim. Environment Canada 2009, INAP 2009, PDAC 2011). Tähän selvitykseen on koottu kansalliseksi raportiksi kotimaisen ja EU-lainsäädännön, käytännön kokemusten sekä kansainvälisten käytäntöjen mukaisia – mutta Suomen oloihin soveltuvia – parhaita ympäristökäytäntöjä ja -tekniikoita erityisesti metallimalmikaivostoiminnalle.

Suomen ympäristökeskus laati työn pohjaksi kaivannaisteollisuuden BAT-esiselvityksen (Niinivaara 2009), jonka tavoitteena oli pohjustaa toiminnanharjoittajien, asiantuntijoiden ja viranomaisten välistä keskustelua kansallisen kaivannaisteollisuuden BAT-asiakirjan tarpeellisuuden arvioimiseksi. Esiselvitys käsitteli kaivostoimintaa ja sen ympäristövaikutuksia eri elinkaaren vaiheissa sisältäen tietoa toimintaan liittyvästä lainsäädännöstä, ympäristönsuojelutekniikoista ja teknisistä ratkaisuista sekä kulutus- ja päästötasoista. Esiselvityksen jälkeiset keskustelut osoittivat jatkotyön tarpeellisuuden. Metallimalmikaivostoiminnan ainutlaatuisten piirteiden vuoksi kansallinen selvitys metallimalmikaivostoiminnan parhaista ympäristökäytännöistä koettiin kuitenkin hyödyllisemmäksi kuin toiminnan päästöraja-arvoja tai parhaan käyttökelpoisen tekniikan mukaisia kulutus- ja päästötasoja määrittelevä BAT-selvitys. Alla olevassa kappaleessa kuvataan selvityksen tavoitteet ja rajaukset.

1.1

Julkaisun tavoitteet ja rajaukset

Metallimalmikaivostoiminnan parhaat ympäristökäytännöt (BEP) julkaisun tavoitteena on yhteisen tietopohjan tuottaminen Suomen olosuhteisiin soveltuvista metallimalmikaivannaissektorin parhaista ympäristökäytännöistä sekä lainsäädännön ja hallintomenettelyjen huomioimisesta ympäristöasioissa. Parhailla ympäristökäytännöillä tarkoitetaan toimien yhdistelmää, jolla voidaan tarkoituksenmukaisesti ja kustannustehokkaasti ehkäistä ympäristön pilaantumista. Selvityksessä tarkastellaan metallimalmikaivosten ympäristönäkökohtia kaikissa toiminnan elinkaaren vaiheissa malminetsinnästä ja kaivostoiminnan aloittamisesta kaivoksen sulkemiseen ja jälkihoitoon asti. Tarkasteltavat asiat kattavat lainsäädännön, toimintaan liittyvät päästöt ja ympäristövaikutukset, tarvittavat ympäristöselvitykset sekä menetelmät ja tekniikat päästöjen ja ympäristövaikutusten vähentämiseksi.

Koska kaivostoiminnan päästöjen ja ympäristövaikutusten laatu ja laajuus riippuvat voimakkaasti louhittavan malmin mineralogisista ja kemiallisista ominaisuuksista, raportissa on painotettu metallimalmien ympäristögeologiaa. Ympäristövaikutusten vähentämistekniikan ja parhaiden ympäristökäytäntöjen kuvauksessa painopisteenä on ollut metallikaivostoiminnassa muodostuvien kaivannaisjätteiden hallintaan liittyvät kysymykset, sillä ne ovat yksi keskeisimmistä ja haasteellisimmista asioista metallimalmikaivostoiminnan ympäristöalanjaljen pienentämisessä. Selvitys on laadittu sekä toiminnanharjoittajien, lupa- ja valvontaviranomaisten että alan konsulttien käytettäväksi kaivostoiminnan suunnittelussa, toteutuksessa ja toiminnan päättämisessä.

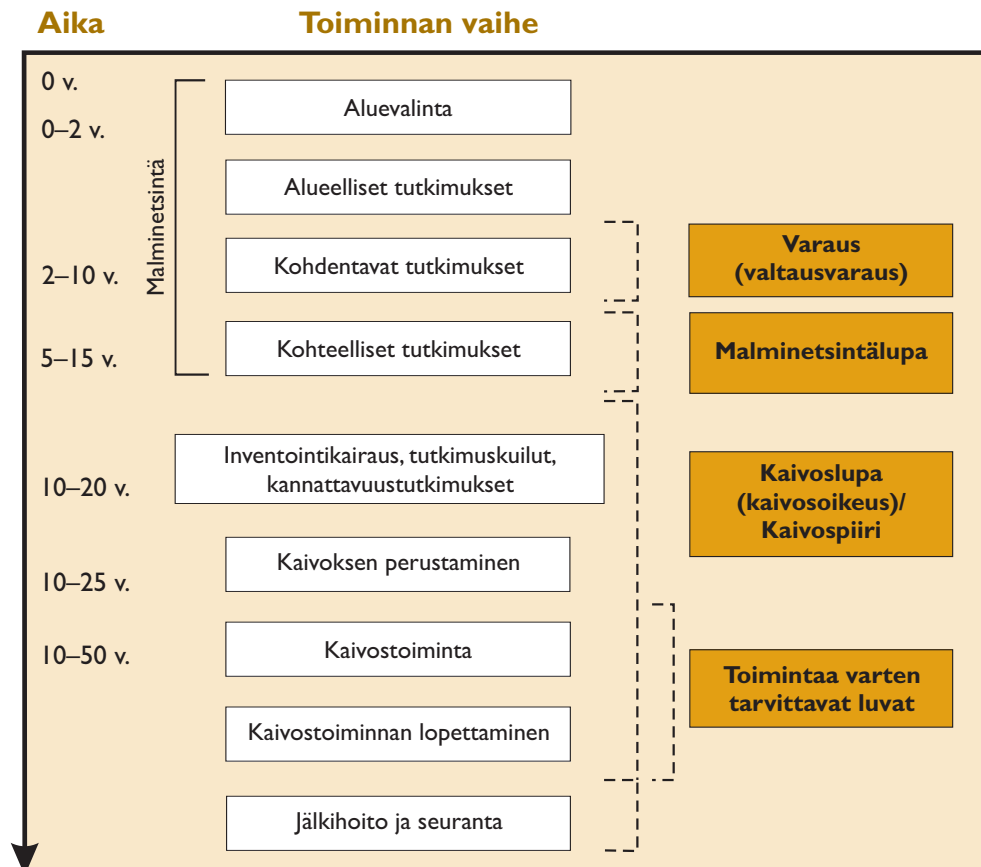
Kaivostoiminta on hyvin yksilöllistä. Esimerkiksi kaivosten tuotantomäärät, tekniset ratkaisut ja tuotannon kesto vaihtelevat voimakkaasti malmiesiintymän ja sijaintipaikan olosuhteiden mukaan. Samoin kaivosten päästöt ja ympäristövaikutukset eroavat tapauskohtaisesti merkittävästi toisistaan ja toiminta poikkeaa kaiken kaikkiaan olennaisesti luonteeltaan muusta tavanomaisesta teollisesta toiminnasta. Yksi BEP-selvityksen keskeisistä tavoitteista on ollut luoda pohja toimintatapojen yhtenäistämiseksi toiminnan erityispiirteet huomioiden.

Selvitys on rajattu koskemaan metallimalmikaivostoimintaa. Metalliset malmit määritellään malmeiksi, jotka sisältävät arvometallien muodostamia mineraaleja, joista metallit erotetaan rikastusteknisin tai metallurgisin keinoin. Metallimalmien arvometallit jaotellaan tavallisesti rauta- ja raudanseosmetalleihin (Fe, Mn, V, Cr, Ni, Mo, W, Co), perusmetalleihin (Cu, Pb, Zn, Sn), kevytmetalleihin (esim. Li, Mg, Be, Ti, Al, Na), harvinaisiin metalleihin (esim. Li, Be, Sn, Ga, Zr, Nb), jalometalleihin (Au, Ag, Pt, Pd) ja radioaktiivisiin metalleihin (U, Th). Tässä raportissa painopisteenä ovat Suomesta louhittavat metallimalmit, toisin sanoen perus- ja jalometalleja tuottava kaivostoiminta. Kallanhuuhdonta on rajattu selvityksen ulkopuolelle.

2 Metallimalmikaivostoiminnan elinkaari ja käytössä olevat prosessit

Kaivostoiminnan elinkaari käsittää karkeasti neljä päävaihetta: malminetsinnän, kaivoksen rakentamisen, tuotannon ja jälkihoidon (Kuva 1). Elinkaari on voimakkaasti sidoksissa taloudellisiin suhdanteisiin. Malminetsintävaihe hyödyntämiskelpoisen esiintymän löytämiseksi ennen varsinaista kaivostoiminnan aloittamista voi kestää vuosia tai jopa vuosikymmeniä. Samoin tuotantovaiheen pituus voi vaihdella voimakkaasti riippuen mm. malmiesiintymän koosta, laadusta ja louhintatekniikasta sekä louhittavien arvoaineiden markkinahinnoista. Hyödyntämiskelpoisen esiintymän ehtyessä kaivosalue suljetaan ja saatetaan jälkihoidolla ympäristölle ja ihmisten terveydelle haitattomaan kuntoon. Kaivoksen sulkemisvaihe voi jatkua edelleen seurannan muodossa vuosia tai vuosikymmeniä toiminnan päättymisen jälkeen.

Alla olevissa kappaleissa kuvataan kaivostoiminnan keskeiset prosessit elinkaaren eri vaiheissa. Kuvaukset Suomessa tällä hetkellä toimivista metallimalmeja tuottavista kaivoksista ja niiden tuotantoprosesseista on esitetty liitteessä 1.



Kuva 1. Kaivostoiminnan elinkaari (mukailtu Heikkinen et al. 2005).

Malminetsintä

Malminetsinnän tavoitteena on löytää ja paikantaa maankamaran mineraaliesiintymä, jonka voidaan osoittaa olevan taloudellisesti hyödynnettävä kaivostoiminnan aloittamiseksi. Malminetsintä on pitkäjänteistä työtä, joka etenee vaiheittain alueellisesta aihehankinnasta kohteelliseen tutkimukseen. Alueellisessa etsintävaiheessa malmipotentialisten vyöhykkeiden tulkinnaissa hyödynnetään valtakunnanlaajuisia GTK:n geologisten kartoitusten ja tutkimusten tuottamia tietoja. Kallioperäkartoitus on tuottanut tietoa Suomen kivilajeista sekä kallioperän rakenteesta. Maaperäkartoitus kertoo maalajien jakautumisesta sekä maaperämuodostumista. Malmipotentialisten vyöhykkeiden tulkintaa hyödyntävät lisäksi merkittävästi geofysiikan ja geokemian aineistot. Alueellisia aineistoja säilytetään GTK:n tietokannoissa, joista ne ovat saatavilla jatkotutkimuksia varten (<http://www.gtk.fi/geotieto/>). Nykyisin malmipotentialiset alueet ja kivilajit ovat suuntaa-antavasti tiedossa, ja kohdentava ja kohteellinen malminetsintä voidaan suunnata näille alueille.

Malminetsintämenetelmät

Kohdentava malminetsintä perustuu geologisiin maastotutkimuksiin eli suoriin havaintoihin ja mittauksiin kalliopaljastumista, lohkare-etsintään, kallio- ja moreeni-näytteenottoon sekä kerättyjen näytteiden analysointiin (GTK 2006). Valtaosa etsintätutkimuksista lopetetaan, jos viitteet malmivarannoista osoittautuvat kohteellisessa selvityksessä riittämättömiksi. Malminetsintä etenee erittäin harvoin koelouhintaan tai kaivospiirihakemukseen. Tosin samojen kohteiden tutkiminen voi aktivoitua uudelleen joko lisääntyneen tutkimustiedon, metallien maailmanmarkkinahintojen muutoksen tai metallien talteenottotekniikoiden kehittymisen myötä. Malminetsintätoimiin vaikuttavat kallioperässä olevan luonnonvaran lisäksi taloudelliset, ympäristönsuojelulliset ja yhteiskunnalliset tekijät.

Kalliopaljastuman havainnointi ja näytteenotto kallion pinnasta

Geologinen malminetsintä perustuu ensisijaisesti kalliopaljastumista tehtäviin maastohavaintoihin (mm. kivilaji, rakenne ja viitteet malmiutumuksesta). Käytännössä kallion päältä käännetään havaintoja ja mittauksia varten turve noin neliömetrin suuruiselta alueelta käsin pois, ja havainnoinnin jälkeen turve palautetaan paikoilleen. Kiinnostavimmat kivilajipaljastumat puhdistetaan veden ja harjan avulla, ja pidetään avoimina alueella tapahtuvien tutkimusten ajan.

Kallioperänäytteet otetaan mineralogisiin tutkimuksiin ja muihin määrityksiin kallion pinnasta palanäytteenä vasaralla, käsikannettavalla minikairalla (10–20 cm:n kivipuikot), sahaamalla timanttilaikalla (5 cm leveä ja 5–7 cm syvä uranäyte) tai jauhenäytteinä poralla. Kallioperään jää näytteen suuruinen jälki, ja sen ympärille mahdollista kivipölyä.

Lohkare-etsintä

Suurin osa, yli 90 %, Suomen kallioperästä on irtaimien maalajien peitossa. Tämän vuoksi kohteellisessa malminetsinnässä tarvitaan suoran kallioperähavainnoin lisäksi myös muita menetelmiä, kuten lohkare-etsintää, jossa pyritään mannerjäätikön kulkettamien irtomalmilohkareiden avulla paikallistamaan malmipotentialinen kallio tarkempia tutkimuksia varten. Mielenkiintoisista lohkareista otetaan näytteet vasaralla tai minikairalla.

Geofysiikan maastotyöt

Geofysikaalisilla mittausmenetelmillä mitataan maankamaran fysikaalisia ominaisuuksia ja tehdään niistä geologisia ja malminetsintää palvelevia tulkintoja. Mittaus-tuloksista voidaan päätellä paksun maapeitteen alla olevan kallioperän laatua, esim. kivilaji- ja mineraalikoostumuksen vaihtelua, sekä paikantaa siirros- ja ruhjevyyöhykkeitä, kivilajirakenteita sekä -muuttumisvyöhykkeitä. Malminetsinnässä geofysikaalisten mittaustulosten ja mallinnusten perusteella arvioidaan erilaisten malmikriittisten kivilohkojen syvyysulottuvuudet ja rakenne maanpinnan alla. Tavallisesti käytetään magneettisia ja sähköisiä menetelmiä, joskus gravimetrisia menetelmiä eli painovoimamittauksia. Sähköisistä menetelmistä käytetyimpiä ovat slingram-menetelmä, indusoitu polarisaatio- (IP) ja omapotentiaalimittaus (SP). Malminetsinnässä voidaan myös käyttää seismisiä ja radioaktiivisia menetelmiä.

Malminetsintään liittyvät geofysiikan mittaukset tehdään kesäisin jalkaisin ja talvella moottorikelkalla kulloinkin tarkoituksenmukaisella linjavälillä, yleensä esimerkiksi 50-100 metrin välillä. Mittauksia tehdään myös mittauslaitteilla varustetulla lentokoneella lentäen kohdealueen yli (lentogeofysiikka). Geofysikaalisia mittauksia (esim. susceptibiliteetti, tiheys, sähköjohtavuus) voidaan tehdä myös kairareistä. 3D-mallinnuksen kehittymisen ja pintaan puhkeamattomien malmiaiheiden etsinnän myötä on aloitettu kehittämään syvyysulottuvia erikoismittauksia ja niihin liittyvää tulkintaosaamista.

Geokemiallinen malminetsintä

Geokemiallinen malminetsintä tutkii alueellisesta pitoisuustasosta poikkeavia, ”anomaalisia”, pitoisuuksia. Näyttemateriaalina käytetään yleisimmin moreenia, joka sisältää jauhautunutta kallioainesta ja kuvastaa täten epäsuorasti kallioperää. Kohteellisissa etsintätöissä geokemia on rutiinimenetelmä, ja näytteenottotiheys vaihtelee parista metristä muutamaan sataan metriin. Maastossa liikutaan talviaikaan moottorikelkoilla. Näytteet otetaan yleensä läpivirtausterällä (tai kierrekairalla) kevyelle telakalustolle asennetulla iskuporalla. Kallion pinnasta voidaan ottaa iskuporalla moreenin lisäksi soija- ja murskenäytteet.

Geokemiallisista tutkimusmenetelmistä Suomen oloissa tavallisia ovat myös humus- ja kalliogeokemia (litogeokemia) sekä raskasmineraali- ja isotooppitutkimukset. Kalliogeokemia perustuu kallionäytteiden kemiallisen koostumuksen analysoimiseen. Humusgeokemia soveltuu puolestaan alueille, joissa kasvillisuus ja kosteusolosuhteet eivät liioin vaihtelee ja maapeite on riittävän ohut. Raskasmineraalitutkimuksissa maanäytteestä rikastetaan erilleen raskain mineraaliaines, joka tutkitaan mikroskoopilla tai analysoidaan kemiallisesti.

Maaperä- ja kallioperänäytteiden kemiallinen koostumus analysoidaan monialkuainemenetelmillä ja tuloksista tehdään geologinen tulkinta. Eri metallien pitoisuusvaihteluja havainnollistetaan kartoilla. Suomen moreenien geokemiasta on saatavilla yleistä tietoa esimerkiksi ns. harvapisteaineiston perusteella (1 näyte/4 km²) (Salminen 1995).

Muita geokemian sovellutuksia ovat esim. malmipotentiaalilin määrittäminen kivilohkojen mineraalien kemiallisten koostumusten perusteella, Mobile Metal Ion -tutkimus (MMI) sekä erilaisista kairauksista ja kartoituksista kerättyjen näytteiden analyysitulosten tilastolliset ja graafiset tutkimusmenetelmät. MMI-tutkimus perustuu maapeitteen pintaosan mineraali- ja humusrakeiden pinnalle heikosti sitoutuneiden metalli-ionien ja muiden alkuaineiden pitoisuuksien määrittämiseen maaperästä. Edustava näyte otetaan lapiolla kaivetusta, noin 0,25 m syvyydestä kuopasta (vrt. Mann *et al.* 1998, Kuva 2).



Kuva 2. Vasen kuva: MMI-malminetsintänäytteenottoa Lapissa. Oikea kuva: kaivinkoneella kallio- ja maaperäkartoitusta sekä raskasmineraalinäytteenottoa varten kaivettu tutkimuskaivanto. Alueen tutkimuksia jatkettiin kohteellisella rapa-kallio- ja moreeninäytteenotolla sekä kairaamalla. (Kuvat Janne Hokka)

Tutkimuskaivannot

Paksumpien maaperäpeitteiden alueilla kallionpintaa tutkitaan aiemmin kuvatuin menetelmin kaivinkoneella tehdyistä tutkimuskaivannoista (Kuva 2; ks. edelliset kappaleet). Maaperä- ja moreenitutkimuksessa lapiolla tai kaivinkoneella kaivetusta tutkimuskaivannoista selvitetään maaperän koostumusta ja rakennetta, kerrostumisvaihteita, kuljetusmatkaa, moreenin raskasmineraaleja ja malmilohkareiden esiintymistä moreenissa. Puhdistettujen monttujen seinämät kartoitetaan ja valokuvataan. Monttujen seinämistä tehdään kivi- ja pitkulaisten kivien suuntauslaskuja ja otetaan näytteitä rakeisuus- ja geokemian analyysiin sekä raskasmineraalitutkimuksiin.

Kallioperäkairaus

Kohteellisen malminetsinnän tärkein vaihe on kallioperäkairaus, jolla saadaan luotettavia yhtenäisiä ja jatkuvia näytesarjoja tutkimuskohteen kivilajeista ja kallioperän rakenteesta. Syväkairauksiin siirrytään, kun geologisten, geofysikaalisten ja/tai geokemiallisten tutkimustulosten perusteella on rajattu kiinnostava, malmipotentialia osoittava alue. Kairaus on tärkeä tutkimusmenetelmä erityisesti vähän kalliopaljastumia sisältävillä alueilla, joissa maapeitteen paksuus on suuri.

Maataloustraktoreita ja raskaimmillaan metsänkorjuussa käytettäviä monitoimikoneita kooltaan vastaavaa kairauskalustoa kuljetetaan lavettiautolla tai kairauskalusto on rakennettu osaksi kuorma-autoa. Maastossa liikkumisessa hyödynnetään

mahdollisuuksien mukaan valmiita koneuria. Syväkairauksessa kalliosta kairataan timanteilla varustetulla porakruunulla lieriönmuotoinen näyte teräs- tai alumiinikairausputkeen. Kairaus tehdään maapeitteen paksuudelle ulottuvan suojaputken läpi, ja siinä käytetään huuhteluaineena joko vettä tai ilmaa, tai molempia yhdessä. Kairasydännäytteet otetaan kairausputkista mahdollisimman ehjinä, katkotaan näytelaatikoihin ja toimitetaan jatkotutkimuksiin. Kairareikään jätetään usein maanpinnalle ulottuva suojaputki ja korkki reiästä tehtäviä geofysikaalisia lisätutkimuksia varten. Kairauksessa käytettävä huuhteluvesi otetaan alueen puroista ja imeytetään lopuksi maaperään saostusastian kautta.

Malminetsinnässä timanttikairauksen reikien syvyys vaihtelee pääasiallisesti 50–200 metrin välillä. Kairaus jaetaan tarkoituksen mukaan eri vaiheisiin. Tunnustelukairauksessa yksittäisiä reikiä sijoitetaan etsintäalueelle aiempien tutkimustulosten ja indikaattorien pohjalta. Etsintäkairauksessa tutkitaan alueen profiilia sijoittamalla reiät peräkkäin tutkittavan alueen poikki. Profiilit sijoitetaan tyypillisesti 50–200 metrin välille ja reikien väli on vastaavasti 50–100 metriä. Inventointikairauksessa reikäväliä ja profiiliväliä edelleen tihennetään ja alueelle voidaan tehdä viuhkakairaus.

Koelouhinta

Esiintymän hyödynnettävyyden tai kannattavuuden selvittäminen sekä rikastusmenetelmän testaaminen ja kehittäminen osana malminetsintää ja kaivoshankkeen suunnittelua edellyttävät koelouhintaa ja rikastuskokeita. Koelouhinta tehdään vastaavilla menetelmillä kuin varsinainen louhinta, kun kaivostoiminnan suunnittelu on käynnistynyt malminetsinnän tulosten perusteella (ks. luku 2.3.1).

Laboratoriomittakaavan rikastuskokeissa vaadittava koelouhintamäärä on pienempi kuin tehdasmittakaavan rikastuskokeissa. Tyypillinen näytemäärä jauhaus-vaahdotus-koeajoa varten on 100–300 tonnia. Sopivan rikastusmenetelmän kehittäminen mineraalitekniikan laitoksissa edellyttää sen sijaan yleensä 200–1 000 tonnin louhintamääriä. Näitä suurempia koelouhintamääriä, 20 000–60 000 t käytetään menetelmäkehityksessä, jos koerikastus tehdään esiintymän lähialueella toimivassa rikastamossa, tai uutta rikastusmenetelmää kehitetään esiintymän lähellä, suunnitellun kaivospiirin alueella. Koelouhinnassa malmiesiintymän päältä poistettujen pintamaiden ja mahdollisten sivukivien (jäte kivien) määrä vaihtelee tavallisesti muutamista sadoista muutamiin satoihin tuhansiin kuutiometreihin.

2.2

Kaivoksen avaaminen ja rakennusvaihe

Kaivoksen avaaminen edellyttää, että malmiesiintymän hyödyntäminen on taloudellista. Malmiesiintymän löytyminen ei aina johda kaivoksen avaamiseen. Esiintymän hyödyntämiskelpoisuutta arvioitaessa otetaan huomioon mm. esiintymän sijainti, koko, mineralogia, arvomineraalien pitoisuudet, kalliomekaniikka, rikastus- ja jatkoprosessointi ja rikasteiden markkinointimahdollisuudet, kaivoksen rakentamiskustannukset sekä hanketta koskevat ympäristö- ja muut lupapäätökset. Tarvittavien selvitysten tekeminen saattaa kestää useita vuosia.

Esiintymän taloudellisuutta selvitetään yleensä tiukasti määrättyjen standardoitujen tai konsernin sisäisten menettelytapojen perusteella, sillä kaivostoimintaa harjoittavat yritykset ovat yleensä pörssissä noteerattavia yhtiöitä. Tällaisia menettelyohjeita ovat esim.:

- National Instrument 43-101
- The JORC Code.

Esiintymän taloudellisen hyödyntämisen selvittäminen edellyttää malminetsintävaiheessa tuotetun tiedon tarkentamista mm. geofysikaalisilla mittauksilla ja kairauksilla sekä maaperä- ja kivinäytteiden analysoimisella (vrt. luku 2.1.1). Malmin prosessiteknisen käsittelyn selvittämiseksi kairausnäytteistä tehdään rikastuskokeita laboratoriomittakaavassa. Samalla näytemateriaalille voidaan tehdä karakterisointitestejä, joilla saadaan alustava käsitys mahdollisen sivukiven ja jättemateriaalin ympäristökelpoisuudesta sekä kemiallisesta käyttäytymisestä lyhyellä ja pitkällä aikavälillä (ks. luku 5.4.2 ja Liite 6). Ennen lopullista kaivospäätöstä suoritetaan usein lisäksi riittävän suuri koelouhinta ja -rikastus louhintateknisten seikkojen varmistamiseksi sekä rikastusprosessiin liittyvien yksityiskohtien selvittämiseksi.

Kaivoksen rakentaminen käynnistetään yleensä viipymättä kaivoksen avaamis päätöksen jälkeen. Kaivoksen rakentaminen kestää tavallisesti noin kaksi vuotta, jos kaivoksen yhteyteen rakennetaan myös rikastamo. Kun kaivoksen rakentaminen aloitetaan, rakennetaan aluksi tarpeelliset tieyhteydet sekä alkuvaiheen töitä ajatellen riittävät sähkönsyötöt. Ensivaiheessa työ-, tauko- ja varastotiloina käytetään yleensä väliaikaisia rakennuksia. Pysyvien rakennusten (rikastamo-, huolto-, varasto-, toimisto ym. rakennukset) ja muun infrastruktuurin (mm. rikastushiekka-altaat, vesien käsittelyjärjestelmät, sivukivien läjitysalueiden pohjarakenteet) rakentaminen käynnistyy kiireellisyysjärjestyksessä.

Ennen tuotannon käynnistämistä rakennetaan louhinnassa ja rikastusprosessissa muodostuville kaivannaisjätteille (erityisesti avolouhinnassa muodostuva sivukivi ja rikastamalla muodostuva rikastushiekka) läjitysalueet, jotka varmistavat näiden materiaalien turvallisen varastoinnin niin terveyden kuin ympäristönkin kannalta. Läjitysalueiden sijoituspaikan ja rakentamisen suunnittelussa huomioidaan materiaalien fysikaalinen ja kemiallinen käyttäytyminen sekä mahdolliset vaikutukset ympäristöön (vrt. luku 5.4.3).

Rikastushiekan läjitystä varten rakennetaan yleensä laajat padotut altaat, jotka on varustettu jäteveden juoksutusrakenteilla ja veden puhdistusjärjestelyillä. Maaperän ja pohjaveden pilaantumisen ehkäisemiseksi altaiden pohjarakenteiden tiiveys varmistetaan tarvittaessa tiivistemateriaaleilla tai vuorauksilla. Sivukivien läjitysalueiden rakenteet ovat tavallisesti yksinkertaisempia, sillä niissä ei yleensä tarvita patoja. Maaperän tiiveys ja lujuus (kantavuus) selvitetään näilläkin alueilla etukäteen. Myös valumavesien hallinta suunnitellaan ennen läjityksen aloittamista. Kaivannaisjätteiden läjitykseen liittyviä teknisiä kysymyksiä käsitellään tarkemmin luvuissa 5.4 ja 6.2.3.

Rakennusvaiheessa tehdään myös malmin tuotantolouhinnan kannalta tarpeelliset valmistelutyöt. Malmin tuotanto pyritään käynnistämään ennen kaivosalueelle tulevan rikastamon valmistumista. Avolouhintaa varten malmiesiintymän pinta paljastetaan alueelta, jolta louhinta aloitetaan. Lisäksi malmiesiintymän ympäriltä poistetaan pintamaita ja sivukiveä. Tämä edellyttää usein massiivisia maansiirtotöitä. Maanalaisen kaivostoiminnan käynnistäminen alkaa yleensä vinotunnelin ja mahdollisen nostokuilun rakentamisella. Nämä rakenteet tehdään tavallisesti sivukiveen. Myös maanalaiset huolto- ja varastotilat rakennetaan ennen tuotannollisen louhinnan aloittamista.

Kaivosalueen tiestön, patojen ym. kohteiden rakentamisessa tarvittava ns. tarvекivi (louhe ja siitä tehtävät murskeet) pyritään saamaan kaivosalueelta suunnitellun avolouhoksen alueelta malmivyöhykkeen ulkopuolelta ja/tai maanalaisen kaivoksen vinotunneleiden ym. tilojen louhinnasta. Rakennuskohteissa käytettävän kiviaineksen tulee täyttää ympäristökelpoisuus- ja teknilliset laatuvaatimukset (ks. luku 5.4.2 ja Liite 6).

Avolouhosalueelta ja muista rakennuskohteista poistettavat pintamaat (ts. maanpoistomassat) varastoidaan yleensä kaivosalueelle alueella suoritettavia maanrakennus- ja maisemointitöitä varten. Rakennusvaiheessa avolouhoksesta tai maanalaisesta

Taulukko 1. Esimerkkitapauksia kaivoksen avaamistoimista Suomessa toimivilla metallimalmikaivoksilla.

Kaivos / arvometalli	Tuotannon aloittamisvuosi	Kaivoksen avaamiseen liittyvät toimenpiteet
Kemin kaivos Cr	1969	Yhtiökohtainen menettelytapa malmiesiintymän arvioinnissa 60-luvulla, koelouhinta ja rikastutkimukset koerikastamolla, jätealtaan padon pohjista maaperätutkimukset
Kittilän kaivos Au	2008	Alkuvaiheessa yhtiökohtainen menettelytapa malmin esiintymän arviointiin, tiestön kunnostaminen ja rakentaminen sekä sähkölinjan rakentaminen, koelouhintaa ja -rikastusta, jätealueen pohjarakenteiden rakentaminen (tiivis kumibitumikermi + moreeni), nykyään malmivarojen raportoinnissa NI 43-101-järjestelmä
Pyhäsalmen kaivos Cu, Zn, S	1962	Yhtiökohtainen menettelytapa malmiesiintymän arvioinnissa 50–60-lukujen vaihteessa, koelouhinta ja rikastutkimukset koerikastamolla, jätealtaan padon pohjista maaperätutkimukset, jätealaiden pohjatutkimukset, nykyään malmivarojen raportoinnissa NI 43-101-järjestelmä
Talvivaaran kaivos Ni, Zn	2009	80-luvulla ensimmäisen vaiheen koelouhinta ja koetehdasmittakaavaiset prosessitutkimukset sekä laajamittaisia laboratoriokokeita, 2000-luvulla uudet koelouhinnat ja kasaliuotuskokeet, mineraalivarantojen raportoinnissa käytetään sekä JORC Code- että NI 43-101-järjestelmää. Liuotuskasojen ja sivukivikasojen sekä jätealtaan pohjat tiivistetty muovikalvolla, infrarakentaminen sisälsi tiet, rautatien ja sähkölinjan, tuotantolaitokset noin 700 000 rakennus-m ³
Oriveden kaivos Au	1995	Laboratoriokokeet kairanäytteistä, koelouhinta, tehdasmittakaavaiset ja pilot-koeajot
Jokisivun kaivos Au	2009	Koelouhinta ja tehdasmittakaavaiset koeajot, taloudellisen arvioinnin pohjana on kassavirtaan perustuva kannattavuustarkastelu ja emoyhtiön hinta- ja valuuttakurssiennusteet, NPV- ja IRR-laskelmat. Rakentaminen sisälsi tieyhteyksien rakentamista, sivukiven läjitysalueen pohjalle ajettiin moreenikerros, louhosvesien käsittelyyn rakennettiin kaksi esiselkeytysallasta ja kaksi peräkkäistä jälkiselkeytysallasta.
Lahnaslammen kaivos Talkki, Ni	1970	Koelouhinta ja -rikastus 1960-luvulla, rikastusmenetelmän valinta laboratorio- ja pilot-kokeiden perusteella, avolouhinta malmiesiintymän luonteen perusteella.

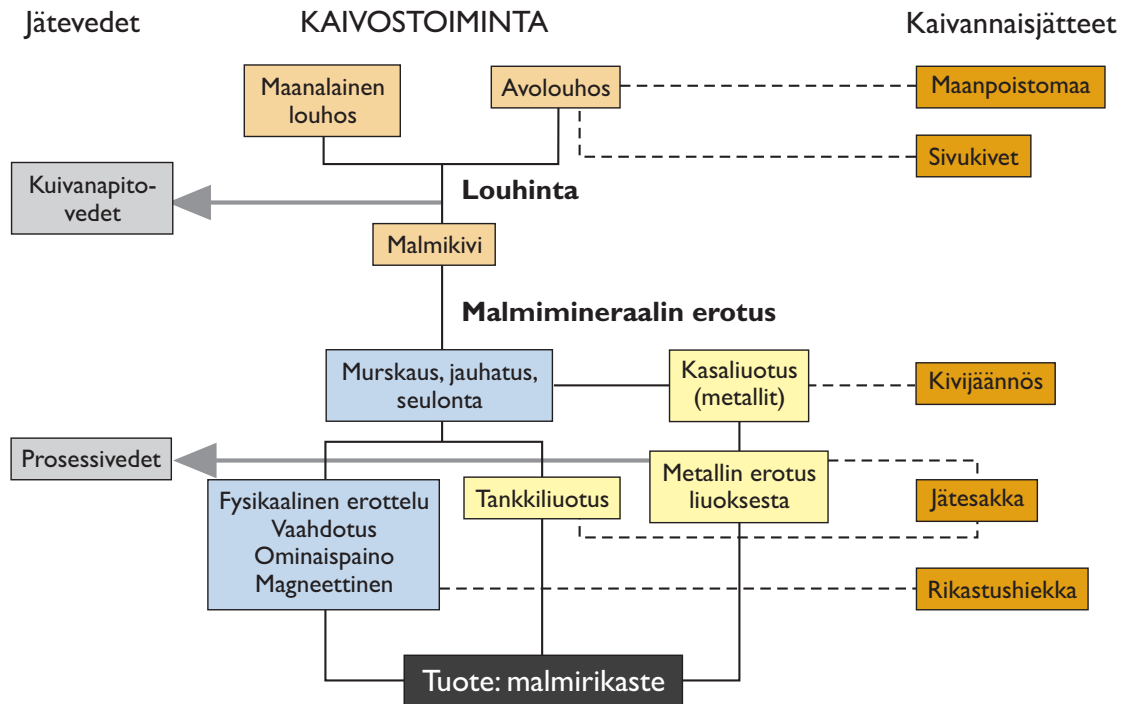
kaivoksesta louhittava hyötykäyttöön kelpaamaton tai ylimääräinen kiviaines läjitetään sivukiven läjitysalueelle.

Yksityiskohtaisempaa tietoa malmiesiintymän kannattavuuden arviointiin ja kaivoksen avaamiseen liittyvistä menettelyistä on esitetty esim. Kaivos- ja louhintatekniikan oppikirjassa (Hakapää ja Lappalainen 2009). Taulukkoon 1 on koottu esimerkkitapauksia suomalaisten metallimalmikaivosten avaamiseen liittyvistä toimenpiteistä.

2.3

Kaivoksen tuotantovaihe prosessivaiheittain

Kaivoksen tuotantovaiheessa malmi irrotetaan kallioperästä louhimalla. Tämän jälkeen malmikivi murskataan ja jauhetaan rikastusprosessiin sopivaksi. Rikastuksessa malmista erotetaan arvoaineet/-mineraalit kemiallisesti tai mekaanisesti erilleen muusta kiviaineksesta ns. rikasteiksi (Kuva 3). Seuraavissa kappaleissa kuvataan kaivostoiminnan eri vaiheet.



Kuva 3. Kaaviokuva kaivostoiminnan yleisprosesseista.

2.3.1

Louhinta ja malmin kuljetus

Arvomineraaleja sisältävä malmi irrotetaan kallioperästä louhimalla siten, että arvoaineiden pitoisuus malmissa on taloudellisesti riittävä. Louhintatekniikasta riippuen malmin irrottaminen edellyttää myös arvottoman sivukiven louhimista. Sivukiven määrä rajoitetaan jatkoprosessin syötteessä mahdollisimman vähäiseksi, jotta rikastusprosessin kapasiteetti olisi mahdollisimman tehokas ja taloudellinen. Louhinnassa ei ole hyväksyttävää tuhlaa luonnonvaroja esimerkiksi hyödyntämällä vain kaikkein rikkain osuus malmiesiintymästä ja jättämällä köyhemmät ja vähemmän kannattavat osat louhimatta, tai ohjaamalla ne sivukivien mukaan. Tämä edellyttää louhinnan jatkuvaa optimointia metallien hintojen, louhinta-, rikastus- sekä kaivannaisjätteiden käsittelykustannusten perusteella.

Jos malmiesiintymä yltää maanpintaan tai sijaitsee lähellä maanpintaa, louhintamenetelmänä käytetään avolouhintaa (Kuva 4). Syvemmällä oleva malmi louhitetaan yleensä maanalaisin menetelmin. Usein tuotanto aloitetaan avolouhintana ja siirrytään syvemmälle edettäessä maanalaiseen louhintaan (Kuva 5). Mikäli malmiesiintymä sijaitsee kokonaisuudessaan syvällä, louhintaa ei voida tehdä lainkaan avolouhintana.

Avolouhinnassa louhitetaan louhintatekniikasta johtuen yleensä suuria määriä sivukiveä, sillä louhoksen seinämien pitäminen turvallisena edellyttää louhoksen laajentamista syvemmälle mentäessä. Malmi-sivukivisuhde vaihtelee kotimaisilla metallimalmikaivoksilla 1:1–1:14,5. Toiminnan alkuvuosina sivukivien määrä on tavallisesti pienempi kuin myöhemmissä vaiheissa. Sivukiven ja malmin erottamisessa on haasteellista, ettei rikastusprosessin syöte laimene liikaa. Mikäli malmiesiintymä ulottuu syvälle, arvioidaan, onko louhosta kannattavaa laajentaa edelleen, vai onko siirryttävä maanalaiseen louhintaan.



Kuva 4. Kittilän kultakaivoksen avolouhos. (Kuva Agnico-Eagle Mines Ltd)

Avolouhinta voidaan tehdä esim. pengerialouhintana, paikalleen räjäyttämällä, nosturilouhintana, iskuvasaralouhintana tai suorana kaivuna. Näistä pengerialouhinta on yleisimmin käytetty menetelmä suomalaisilla kaivoksilla. Pengerialouhinnan työvaiheita ovat irrotus, rikotus ja louheen lastaus sekä kuljetus. Irrotuksessa kivi irrotetaan kalliosta poraamalla ja räjäyttämällä. Rikotuksessa ylisuuret kivet särjetään lastaukseen ja murskaukseen sopiviksi. Pengerialouhinta etenee tasapaksuin penkerein ylhäältä alaspäin, ja penkereet yhdistetään toisiinsa ajoteillä, joita pitkin malmi ja sivukivi kuljetetaan murskaamolle. (Hakapää ja Lappalainen 2009)

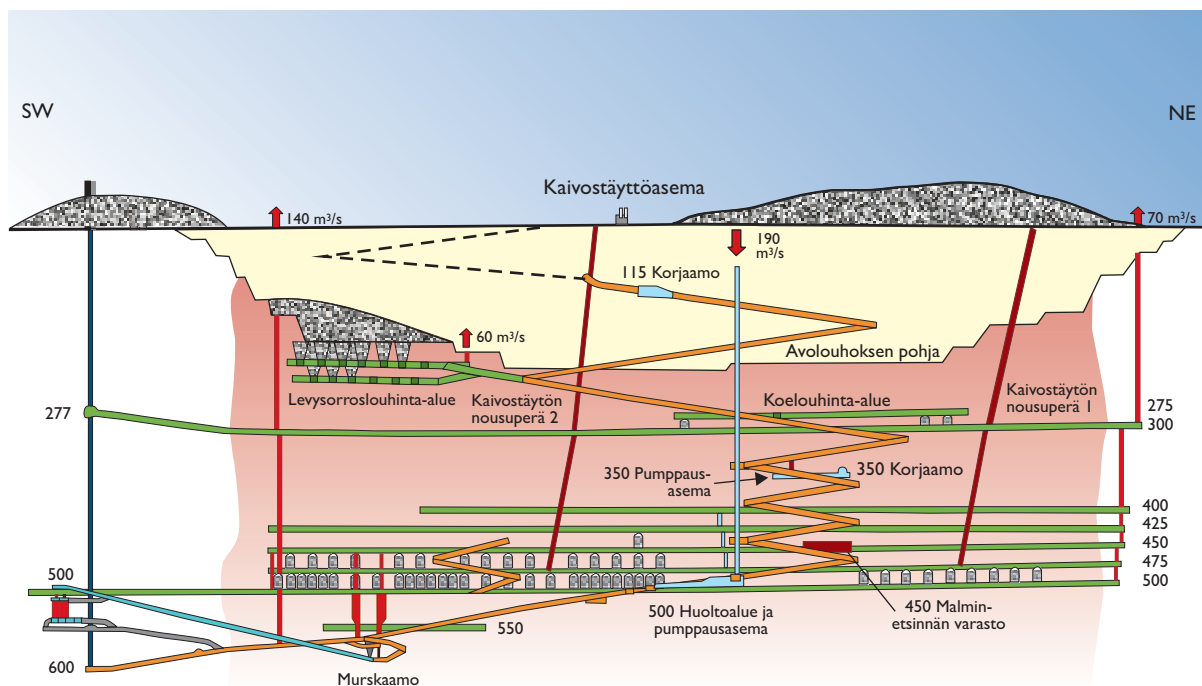
Paikalleen räjäyttäminen on pengerialouhinnan muunnos, jossa malmiä ei lastata ennen seuraavaa räjäytystä. Se soveltuu käytettäväksi mm. loivakaateisille malmeille, joissa on malmikerrosten välissä raakkukerros, sekä kapeille juonimalmeille ja massiivisten malmien suurimittaiseen louhintaan. Menetelmän etuna on lastauksen selektiivisyys, jolla varmistetaan malmin tarkka talteensaanti ja vähäinen raakkulaimennus. Paikalleen räjäyttämistä käytetään esim. Kittilän kultakaivoksella. (Paalumäki 2009)

Suomen metallikaivoksilla avolouhosten enimmäissyvyys vaihtelee yleensä välillä 150–200 m, ja pengerialkorkeus on tavallisimmin välillä 14–15 m (Paalumäki 2009). Talvivaaran nikkelikaivoksen suunniteltu syvyys on 300 m.

Maanalaisessa kaivoksessa sivukiviä louhitaan mahdollisimman vähän (malmi-sivukivisuhde esim. Kemin kaivoksella 1:0,5–0,4 ja Pyhäsalmeilla 1:0,05–0,04). Kuilut ja kulkuväylät louhitaan yleensä sivukiveen. Sivukiviä ei kuitenkaan tavallisesti kuljeteta maanpinnalle, vaan ne käytetään maanalaisessa kaivoksessa tyhjiä louhostilojen täyttönä ja tukena. Maanalaisessa kaivoksessa malmin louhinnassa käytettävät menetelmät ja tekniikat riippuvat malmiesiintymän sijainnista ja muodosta sekä kalliomekaanisista tekijöistä. Myös malmin arvo ja louhintakustannukset sekä ympäristönäkökohdat vaikuttavat louhintamenetelmien valintaan.

Maanalaisessa louhinnassa yleisesti käytettävät menetelmät jaetaan kolmeen pääluokkaan (Lappalainen 2009):

1. Avoimet menetelmät (louhospilarein tuetut)
 - Pilarilouhinta
 - Välitasolouhinta
 - Pengerialouhinta



Kuva 5. Kaaviokuva Kemin maanalaisesta kaivoksesta, jonka toiminta on aloitettu avolouhintana. (Kuva Outokumpu Oyj)

2. Täyttömenetelmät

- Lyhytreikätyttölouhinta
- Pengertäyttölouhinta
- Makasiinilouhinta

3. Sorrosmenetelmät

- Levysorrostalouhinta
- Lohkosorrostalouhinta.

Maanalaisessa louhinnassa tyhjiä louhoksia sekä tunneleita tuetaan sortumien estämiseksi. Tukeminen tehdään esimerkiksi täyttämällä louhostilat sivukivellä ja rikastushiekasta erotetulla ”kaivostäytteellä”, johon on yleensä lisätty kovettavia lisäaineita (esim. sementtiä, kalkkia, lentotuhkaa tai masuunikuonaa). Tunneleiden tukemiseksi käytetään esim. tunnelin seiniin upotettuja pitkiä pultteja, betonointia ja/tai rappausta.

Louhintaporauksessa käytetään nykyään pitkälle automatisoitua, tehokasta, sähköllä ja paineilmalla toimivaa kalustoa. Poratut ja panostetut kentät räjäytetään yleensä tietyn vakiintuneen aikataulun mukaisesti, aiheuttamatta vaaraa henkilöturvallisuudelle. Etenkin avolouhinnan yhteydessä räjäytysaikataulua rajoitetaan usein lupamääräyksillä mahdollisten melu- ja värinähaittojen ehkäisemiseksi. Louhinnassa käytettäviä räjähdysaineita on kuvattu luvussa 4.2.3.2 ja esitetty taulukossa 2.

Sekä maanalaisessa että avolouhinnassa louhinta ulottuu pohjaveden pinnan alapuolelle. Louhostiloja pidetään kuivana pumppaamalla louhokseen kertyvää pohjavettä kaivoksesta maanpinnalle.

Maanalaisen kaivoksen ilmanvaihto järjestetään puhaltamalla pääpuhaltimella raitista ilmaa tuuletuskuilun kautta maanalaisiin tiloihin. Kaivosperät tuuletetaan maan alla olevilla puhaltimilla ja tuuletustorvilla. Vanhoissa runsaasti tunneliverkostoa käsittävissä kaivoksissa tuuletusjärjestelmä voi olla hyvinkin monimutkainen ja sen toiminta edellyttää automatiikkaa ja tarkkaa valvontaa. Talvisaikaan tuuletusilmaa lämmitetään tuuletusnousun jäähtymisen estämiseksi. Syvissä kaivoksissa lämpötilaa puolestaan jäähdytetään kesäaikaan tuuletusilman liiallisen lämpenemisen estämiseksi.

Taulukko 2. Louhinta- ja kuljetusmenetelmät sekä louhinnassa käytettävät räjähdysaineet Suomessa toimivilla metalli-malmikaivoksilla.

Kaivos	Louhintamenetelmä ja -tekniikka	Räjähdysaine	Räjähdysaine	Malmin kuljetus
Kemin kaivos	Avolouhos (lopetettu 2005) Maanalainen kaivos, Pengertäyttölouhint	Kemiitti 510 emulsio	0,2 kg/t 0,14 kg/t	Kuorma-autokuljetus Nosto hissillä
Kittilän kaivos	Avolouhos ja Maanalainen kaivos	Riogel-emulsio	raakkukentissä 0,225 kg/t malmissa 0,18 kg/t	Kuorma-autokuljetus murskaamolle
Pyhäsalmen kaivos	Maanalainen kaivos, Välitaso- ja pengerlouhint	Kemiitti 810	0,33 kg/t	Nosto hissillä, hihnakuuljettimet
Talvivaaran kaivos	Avolouhos	Kemiitti 510 emulsio	0,25–0,28 kg/t	Kuorma-autokuljetus esimurskaimeen
Oriveden kaivos	Maanalainen kaivos	Kemiitti 510 emulsio	0,3–0,6 kg/m ³	Kuorma-autokuljetus Sastamalaan, 85 km
Jokisivun kaivos	Avolouhos, Pengerlouhint	Dynamiitti Anfo Kemix-A	0,3–0,6 kg/m ³	Kuorma-autokuljetus Sastamalaan, 40 km
Lahnaslammen kaivos	Avolouhos	Kemiitti 510 emulsio	0,25 kg/m ³	Kuorma-autokuljetus esimurskaimeen

Malmi siirretään avolouhoksista käsiteltäväksi kuorma-autoilla, dumppereilla tai kiviautoilla, ja joskus myös hihnakuuljettimilla (vrt. Taulukko 2). Mikäli avolouhintaa tehdään yhtä aikaa maanalaisen louhinnan kanssa, voidaan avolouhoksesta louhittu malmi myös pudottaa kaatonousun kautta maanlaiseen kaivokseen, josta se nostetaan yhdessä maan alta louhitun malmin kanssa. Maanlaisesta kaivoksesta malmi siirretään nostolaitteella (hissi), autoilla tai hihnakuuljettimella, tai niiden yhdistelmällä.

Toisinaan kaivos saattaa sijaita jopa kymmenien kilometrien päässä rikastuslaitoksesta. Tällöin malmi kuljetaan kaivokselta rikastamolle maanteitse tai rautateitse, jos kuljetusmatkat ovat erittäin pitkiä tai jos kuljetettavat materiaalmäärät ovat suuria. Enonkosken kaivoksella, jossa kaivos ja rikastamo sijaitsivat sopivasti vesireittien varrella, malmi kuljetettiin aikoinaan laivalla.

2.3.2

Murskaus ja seulonta

Louhitun malmin kappalekoko pienennetään murskauksella jatkokäsittelyyn sopivaksi. Maanlaisessa louhinnassa malmikivi esimurskataan nostolaitteille sopivaksi ennen malmin nostoa maanpinnalle. Mikäli malmi kuljetetaan kaivoksesta rikastamolle kuorma-autoilla, ylisuuret kappaleet rikotetaan ennen kuljetusta ja ensimmäinen varsinainen murskausvaihe tehdään maanpinnalla sijaitsevassa murskaamossa. Ensimmäistä murskausvaihetta nimitetään esi- tai karkeamurskaukseksi, ja tavallisimmin siihen käytetään leuka- tai karamurskaimia (Kuva 6).

Tämän jälkeinen murskausprosessi riippuu sitä seuraavasta jauhatu- tai muusta käsittelyprosessista (Taulukko 3). Normaalisti murskauspiiri koostuu murskaimista ja seuloista, jotka on kytketty suljettuun piiriin siten, että piiristä ulos tulevan materiaalin raekoko on halutulla alueella. Materiaali voidaan toisinaan jakaa esimurskauksen jälkeen eri raeluokkiin myös pelkästään seulomalla. Useimmiten malmi murskataan yhdessä tai useammassa vaiheessa hienommaksi ennen jatkokäsittelyä.



Kuva 6. Maanalainen leukamurskain Pyhäsalmen kaivoksella. (Kuva Pyhäsalmi Mine Oy)

Hienomurskaukseen käytetään yleisimmin kartiomurskaimia ja seulontaan täryseulakoneita, joihin on asennettu yksi tai useampia seulatasoja. Murskaus- ja seulontapiiri on toisinaan rakennettu ulkotiloihin ilman varsinaisia rakennuksia. Tämä ratkaisu asettaa haasteita sekä ympäristönsuojelulle että toiminnalle vaikeissa sääolosuhteissa.

Taulukko 3. Murskaus ja seulonta Suomessa toimivilla metallimalmikaivoksilla.

Kaivos/tuotantolaitos	Murskaus ja seulonta
Kemin kaivos	3-vaiheinen murskaus, joista 1. vaihe maan alla (karamurskain), 2. vaihe avoimena piirinä (STD-kartiomurskain) ja 3. vaihe avoimena piirinä (SH-kartiomurskain)
Kittilän kaivos	1-vaiheinen murskaus maan pinnalla (leukamurskain)
Pyhäsalmen kaivos	1-vaiheinen murskaus maan alla (leukamurskain), seulonta kolmeen raeluokkaan maan päällä, tarvittaessa jakeiden lisämurskaus seulonnan / jauhatuksen yhteydessä (kartiomurskain)
Talvivaaran kaivos	Esimurskaus karamurskaimella, kuljetus välivarastoon, 3-vaiheinen hienomurskaus kartiomurskaimilla, joista kaksi viimeistä vaihetta suljetussa piirissä seulakoneiden kanssa, murskatun tuotteen raekoko 80 % alle 8 mm
Sastamalan rikastamo	3-vaiheinen murskaus: 1. vaihe leukamurskain, 2. vaihe karamurskain ja 3. vaihe kartiomurskain, jotka toimivat avoimena, lisäksi piirissä täryseula, joka erottelee valmiin hienon tuotteen jauhatukseen
Lahnaslammen kaivos	2-vaiheinen murskaus, esimurskaus leukamurskaimella, toisessa vaiheessa iskupalkkimurskain

2.3.3

Jauhatus

Jauhatuksessa malmi hienonnetaan sellaiseen raekokoon, että malmin sisältämät arvomineraalit esiintyvät riittävän puhtaina itsenäisinä rakeina, jotta ne saadaan erotettua sivukivirakeista rikastusprosessissa.

Metallimalmikaivoksilla malmi jauhetaan yleensä vaakasuorissa pyörivissä myllyissä vesilietteessä, joko metallisilla jauhinkappaleilla tai malmista erotelluilla suuremmilla kappaleilla (ns. autogeeniset jauhatusmenetelmät). Malmi jauhetaan yhdessä tai useammassa vaiheessa (Taulukko 4). Jauhatuspiirin myllyt (Kuva 7) on useimmiten kytketty suljettuun piiriin luokituslaitteiden kanssa, jotka palauttavat karkeat rakeet takaisin jauhatuspiiriin. Näin varmistetaan, että jauhatuksesta ulos tulevan materiaalin raekokojakauma on halutulla alueella jatkokäsittelyä varten.

Jauhatuspiiriin saattaa olla kytkettynä myös karkeavaahdotuskoneita, ominaispaineerottimia tai jopa magneettierottimia, joilla erotetaan luokituslaitteen palauttamasta ns. kiertokuormasta arvomineraalien karkeampia fraktioita. Tällaiset kytkennät ovat melko tyypillisiä varsinkin kullan rikastuksessa.

Jauhatus on yleensä eniten energiaa kuluttava vaihe malmin käsittelyprosessissa (30–63 %). Tämän vuoksi jauhatuspiirin optimointi on kaivoksilla usein jatkuvan kehitystyön kohteena.



Kuva 7. Jauhatusmyllyt Pyhäsalmen kaivoksella. (Kuva Pyhäsalmi Mine Oy)

Taulukko 4. Jauhatusmenetelmät Suomessa toimivilla metallimalmikaivoksilla.

Kaivos/tuotantolaitos	Jauhatuspiiri
Kemin kaivos	1.vaihe: tankomylly avoimessa piirissä
	2. vaihe: kuulamyly suljetussa piirissä luokittimina toimivien Derrick-seulojen kanssa
Kittilän kaivos	1-vaiheinen jauhatus SAG myllyllä, joka on kytketty suljettuun piiriin sykloniluokittimen kanssa
Pyhäsalmen kaivos	1. vaihe: lohkaremylly (SAG) lohkareet + kuulat (100 mm)
	2. vaihe: 3 palamylyä (AUTOG), tarvittaessa kuulia (60 mm)
	3. vaihe: kuulamyly (kuulat 30 mm)
	2. ja 3. vaihe suljetussa piirissä sykloniluokittimen kanssa
	Jauhatushienous: 65 % < 0,074 mm.
Talvivaaran kaivos	Varsinaista jauhatusvaihetta ei ole, malmi menee murskauksen ja seulonnan jälkeen kasaliuotukseen
Sastamalan rikastamo	1. vaihe: tankomylly
	2. vaihe: kuulamyly (kuulat 40 mm) suljetussa piirissä syklonin kanssa
	Ominaispainopiiri kiertokuorman käsittelyyn (Raichertin kartio, spiraaliluokittimet sekä kaksi tärypöytää)
	Vaahdotuksen syötteen jauhatushienous: 75 % < 0,074 mm
Sotkamons kaivos	Yksivaiheinen kuulajauhatus suljettuna sykloniluokittimen kanssa.

Rikastus

Rikastuksessa malmista erotetaan arvoaineita sisältävät mineraalit arvottomista mineraaleista. Metallimalmikaivoksilla yleisimmin käytettyjä rikastusmenetelmiä ovat (Taulukko 5):

- Vaahdotus
- Ominaispainorikastus
- Magneettinen rikastus
- Liuotusmenetelmät.

Näitä menetelmiä voidaan käyttää erillisinä yksittäisinä käsittelymenetelminä, mutta usein menetelmiä yhdistetään keskenään esimerkiksi niin, että vaahdotusprosessiin liitetään joku muu menetelmä rikasteen, jätteen tai välituotteiden käsittelyyn (esim. Hukki 1964, Lukkarinen 1987).

Taulukko 5. Rikastusmenetelmät ja arvometallien saanti Suomessa toimivilla metallimalmikaivoksilla.

Kaivos/tuotantolaitos	Rikastusmenetelmä	Tuotteet	Kok. saanti %
Kemin kaivos	Ominaispainoerotus	Kromirikasteet (Cr_2O_3)	75
		Palarikaste (36 % Cr_2O_3)	
		Hienorikaste (44,2 % Cr_2O_3)	
Kittilän kaivos	Vaahdotus, painehapetus, CN-liuotus ja elektrolyysi	Au metalliharkot (Au 92–95 %)	84–88
Pyhäsalmen kaivos	Vaahdotus	Cu-rikaste (29 % Cu)	95–96
		Zn-rikaste (54 % Zn)	92–93
		S-rikaste (52 % S)	n. 50
Talvivaaran kaivos	Bakteeriliuotus ja metallien saostus kemiallisesti	NiS (sakka)	n. 80
		ZnS (sakka)	
Sastamalan rikastamo	Ominaispainoerotus ja vaahdotus	Au-rikaste/vaahdotus (150–200 g/t Au) Au-rikaste/tärypöytä (n. 80 % Au)	80–85
Lahnaslammen kaivos	Vaahdotus	Ni-rikaste (8 % Ni)	58

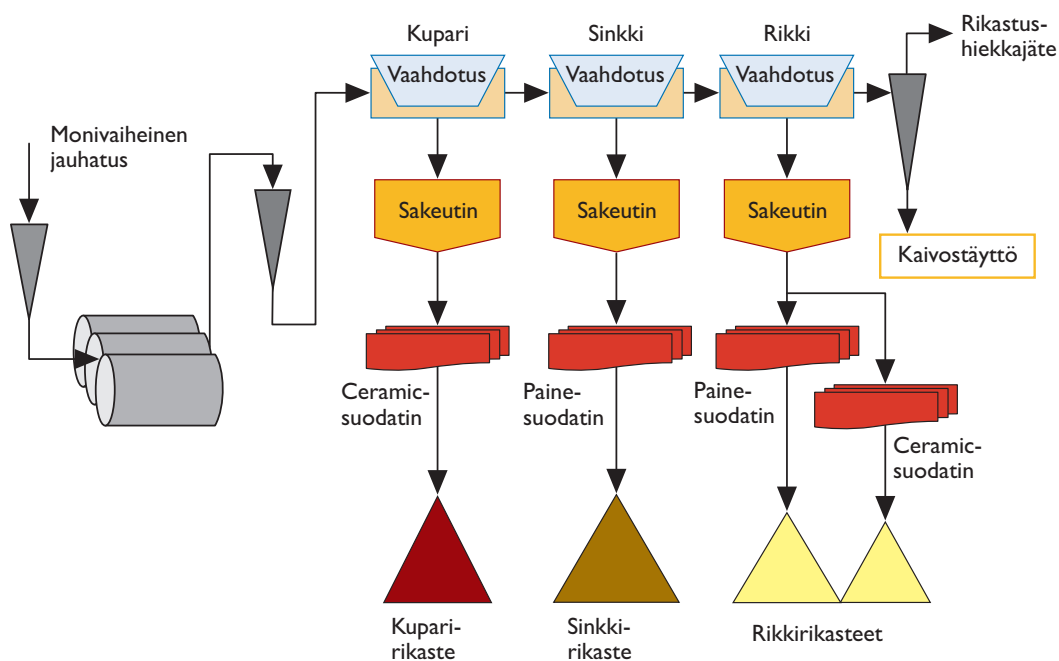
Vaahdotus

Sulfidimineraalien rikastuksessa ylivoimaisesti eniten käytetty rikastusmenetelmä on vaahdotus, jossa malmilietteeseen lisätään kemikaaleja sekä lietteen sähkökemiallisten olosuhteiden säätämiseksi että mineraalipintojen muuttamiseksi sellaisiksi, että mineraalirakeet saadaan tarttumaan ilmakupliin ja nousemaan niiden mukana lietteen pintaan. Tämä tapahtuu vaahdotuskoneissa, joissa liete sekoitetaan ja lietteeseen syötetään ilmaa mahdollisimman pieninä kuplina (Kuvat 8 ja 9). Vaahdotus tehdään useammassa vaiheessa riittävän saannin ja lopullisen rikasteen puhtauden varmistamiseksi. Tämän vuoksi vaahdotuspiirissä tarvitaan useampia erikokoisia vaahdotuskoneita.



Kuva 8. Cu-vaahdotuspiiri Pyhäsalmen kaivoksella. (Kuva Pyhäsalmi Mine Oy)

Vaahdotuspiirit ja niihin kuuluvat lietekierrot rakennetaan tapauskohtaisesti käsiteltävän malmin koostumuksen perusteella. Vaahdotuksessa tarvittavat kemikaalit ja niiden käyttömäärät määräytyvät myös malmin mukaan. Toisinaan vaahdotuksen onnistuminen voi edellyttää esimerkiksi pH:n säädön lisäksi tai sijasta prosessin redox-potentiaalin säätämistä. Malmin koostumus vaikuttaa myös käsittelyprosesseissa saavutettaviin metallurgisiin tuloksiin. Taulukkoon 6 on koottu esimerkkejä sulfidimalmien vaahdotuksessa käytettävistä kemikaaleista. Kemikaalien käyttöä rikastuksessa on käsitelty laajemmin mm. rikastustekniikan oppikirjoissa (Hukki 1964, Lukkarinen 1987).



Kuva 9. Esimerkki vaahdotuspiiristä Pyhäsalmen kaivokselta.

Taulukko 6. Esimerkkejä sulfidimalmien vaahdotuksessa yleisimmin käytettävistä kemikaaleista.

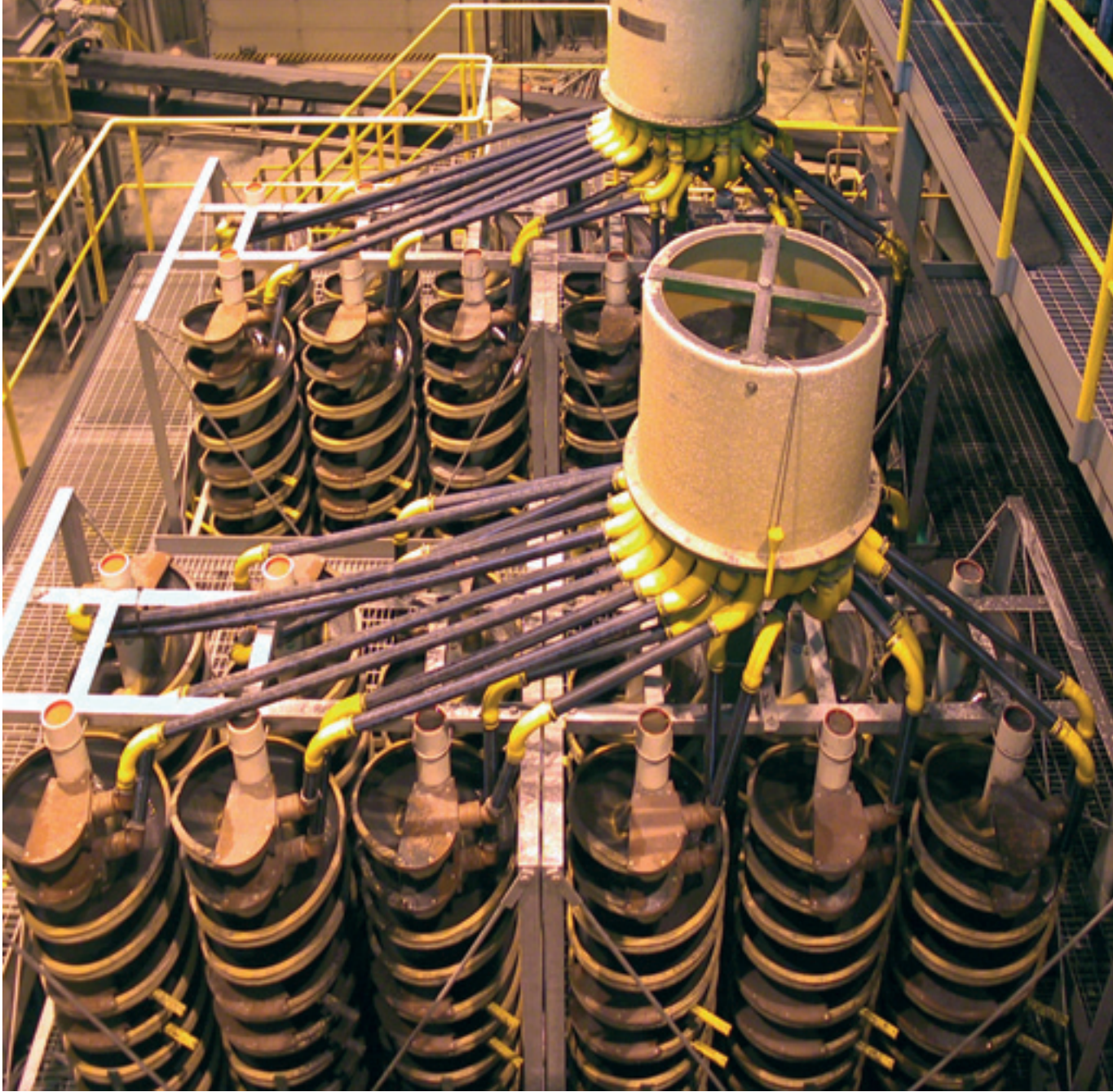
Kemikaaliryhmä	Esimerkkikemikaaleja
Kokoojakemikaalit	Ksantaatit, kemiallinen yleiskaava $R-O-CS_2-Me$, jossa hiilivetyryhmä yleensä etyyli-, isopropyli-, isobutyli-, tai amyyliryhmä ja metalliryhmänä Na tai K
	Ditiofosfaatit, kemiallinen yleiskaava $(RO)_2 = P = S_2-M$, esim. Danafloat
	Ditiofosfinaatit, kemiallinen yleiskaava esim. Aerophine $(C_4H_9)_2-P(S)-S-Na$
Vaahdotteet	Terpeeniyhdisteet, joita saadaan puunjalostusteollisuudesta terpeenin tislauksprosessista sivutuotteena (esim. Sylvamine)
	Pitkäketjuiset alkoholit, esim. Montanol
	Eetterit, esim. Dowfroth vaahdotteet kuten esim. polypropyleeni-glykoolimetyylieettereitä $[CH_3-(OC_3H_6)_n-OH]$
pH:n säätäjät	Rikkihappo (H_2SO_4)
	Kalkki joko hienokalkkina $Ca(OH)_2$ tai poltettuna kalkkina CaO
Redox-potentiaalin säätäjät	Rikkihappo, jolla potentiaalia säädetään positiiviseen suuntaan (hapetus)
	Natriumsulfidi, jolla potentiaalia säädetään negatiiviseen suuntaan (pelkistys)
Aktivaattorit	Kuparisulfaatti, jota käytetään sinkkivälikkeen ja rautakiisujen aktivointiin
Painajat	Sinkkisulfaatti, jota käytetään erityisesti sinkin painamiseen kupari-vaahdotuksessa
	CMC eli karboksimeetyliselluloosa, jota käytetään silikaattimineraalien painamiseen sulfidien vaahdotuksessa
	Tärkkelys, jota käytetään silikaattimineraalien painamiseen sulfidien vaahdotuksessa
	Na-dikromaatti, jota käytetään esim. lyijyn painamiseen kupari-lyijy-erotuksessa (voimakas ja myrkyllinen, hapettava kemikaali)
	Natriumsyanidi, jota käytetään esim. sinkin painamiseen kuparivaahdotuksessa. Käyttö perustuu sen taipumukseen muodostaa helposti kompleksiyhdisteitä. Kullan rikastuksessa syanidi toimii kullan liuottimena (erittäin myrkyllinen kemikaali)
Apuaineet	Flokkulantit, joita käytetään sakeutuksen ja selkeytyksen apuaineina (esim. polyakryyliamidit)
	Vaahdonestoaineet, joita käytetään vaahdon tappamiseen esim. pumpuilta
	Suodatuksen apuaineet (yleisin Al-sulfaatti)

2.3.4.2

Ominaispainoerotus

Ominaispainoerotus perustuu mineraalien välisten ominaispainoerojen hyödyntämiseen, joten se soveltuu malmeille, joissa arvomineraalin ominaispaino on huomattavasti suurempi kuin arvottomien mineraalien ominaispaino. Tällaisia ovat esimerkiksi kromi- ja kultamalmit. Kullan rikastusprosessissa ominaispainoerotusta voidaan käyttää, kun metallinen kulta esiintyy malmissa riittävän karkeina rakeina. Menetelmään on tarjolla useita kaupallisia laitteita (esim. spiraalit, kartiot, tärypöydät), joilla raskaat rakeet erotetaan lietevirrasta (Kuva 10).

Perinteinen ominaispainoerotusmenetelmä on raskasväliaine-erotus, jossa malmin kappaleita ”kellutetaan” raskaassa väliaineessa. Painavat kappaleet (arvomineraalit) painuvat pohjaan ja kevyemmät (sivukivimineraalit) kelluvat pinnalla, josta ne on helppo erottaa. Yleisimmin käytetty väliaine on piirautasuspensio, jonka ominaispaino (lietetiheys) säädetään sopivaksi.



Kuva 10. Spiraaliluokittimet Kemin kaivoksen ominaispainoerotuksessa. (Kuva Outokumpu Oyj)

2.3.4.3

Liutusmenetelmät

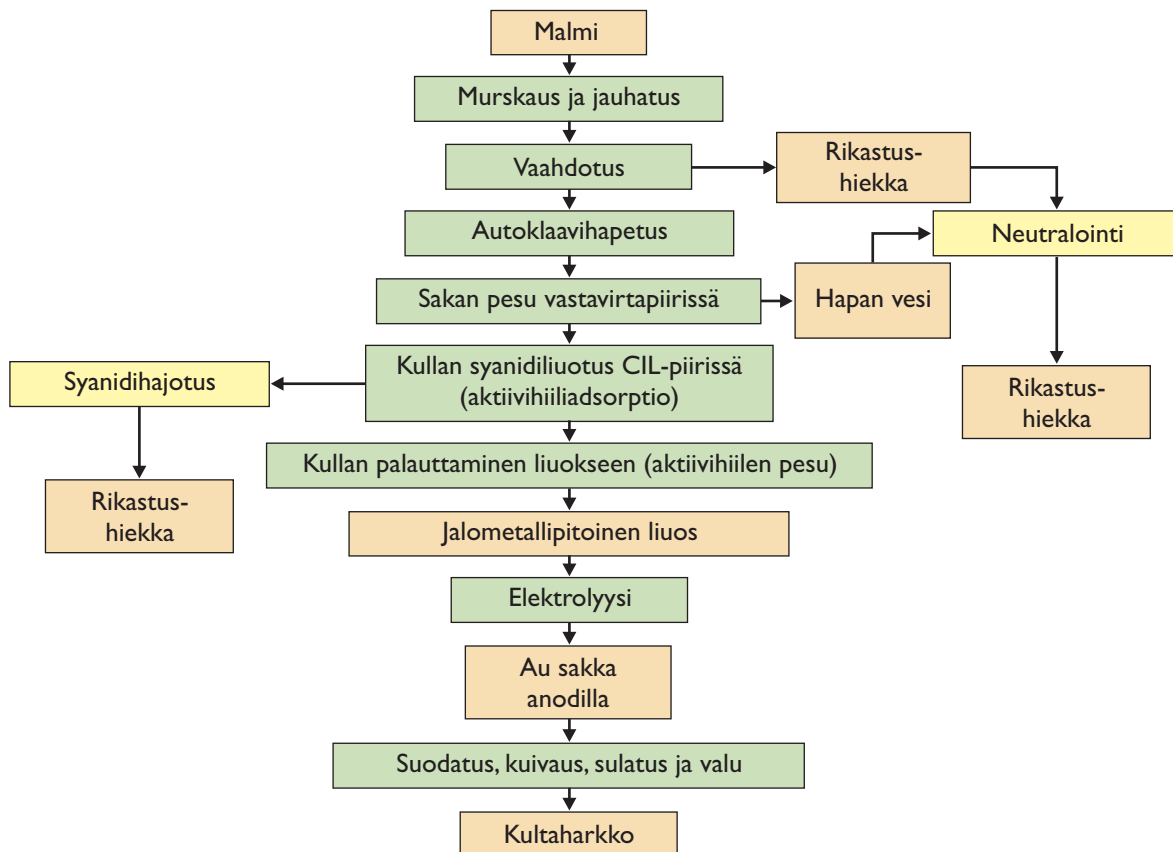
Liutusta käytetään yleensä helposti liukenevien malmien käsittelyyn tai mineralogisesti vaikeammin esim. vaahdottamalla rikastettavien malmien käsittelyssä. Liutuksessa arvometallit erotetaan malmista erilaisilla liuottimilla, esimerkiksi hapoilla tai syanidilla. Syanidia käytetään arvometallin saannin parantamiseen mm. kullan rikastusprosessissa, sillä syanidiliuotuksella saadaan erotettua suurin osa siitä kullasta, jota ei voida erottaa ominaispainoerotuksella tai vaahdotuksella (ks. Kuva 11).

Liutusta voidaan myös tarvittaessa tehostaa bakteereilla tai liuotus voi perustua bakteeritoimintaan (esim. Talvivaaran bioliuotus). Liuotuksen jälkeen arvometallit saostetaan liuoksesta kemiallisesti (esim. pelkistämällä H_2S :n avulla) tai sähkökemiallisesti (elektrolyysi). Ennen saostusprosessia liuos väkevöidään esim. uuttoliuoksen kierrätyksellä, uutolla/strippauksella tai uutolla/absorboinnilla.

Metallimalmien liuotus tehdään joko tankki- tai kasaliuotuksena. Tankkiliuotuksessa käytetään joko liuotusreaktoreita ja/tai autoklaaveja. Liuotusreaktorit ovat se-

koittimella varustettuja säiliöitä, joissa malmi liuotetaan kemikaaleilla ja/tai kaasuilla vesilietteessä. Joskus liukenemista tehostetaan lämmittämällä reaktoria esim. höyryllä. Autoklaaviliuotuksessa reaktionopeutta nostetaan lisäämällä liuoksen lämpötila yli sen kiehumispisteen (ylipaine). Autoklaaviin lisätään happea sulfidimineraalien hapettamiseksi. Liuotusta ennen malmiä voidaan käsitellä tarvittaessa muilla rikastusmenetelmillä, esim. vaahdotuksella (mm. kullan rikastusprosessissa sulfidien hajotus ennen syanidiliuotusta, kun kulta on sitoutunut sulfidimineraaleihin, Kuva 11).

Kasaliuotuksessa malmin varastokasaan suihkutetaan suuttimilla liuotuskemikaalia, joka liuottaa kasasta arvometallit. Arvometallipitoinen liuos kerätään talteen kasan alla olevalla keräysjärjestelmällä. Suomessa kasaliuotus on käytössä Talvivaaran kaivoksella, jossa metallit liuotetaan malmista biokasaliuotuksella (bakteeritoimintaan perustuva kasaliuotus). Talvivaarassa on liuotuskasan alle rakennettu tiivis pohja bentoniittimatosta ja sen yläpuolella olevasta 2 mm vahvasta HDPE-muovikalvosta. Kasan läpäissyt neste valuu tiivistä kerrosta pitkin salaojakerrokseen, joka ohjaa liuoksen kasan alapuolella sijaitsevaan putkistoon ja edelleen keräilyaltaisiin, joista neste pumpataan joko metallien talteenottoon tai takaisin liuotuskiertoon. Kasaliuotusta käytetään tavallisesti pieniä arvometallipitoisuuksia sisältäville nk. köyhille malmeille.



Kuva 11. Kultamalmin liuotuskäsittely Kittilän kaivoksella.



Kuva 12. Kittilän kaivoksen tuotteena ovat kultaharkot.
(Kuva Agnico-Eagle Mines Ltd)

2.3.4.4

Magneettierotus

Magneettierotus perustuu mineraalien erilaisiin magneettisiin ominaisuuksiin. Erotus tehdään joko märkäerotuksena lietteestä tai kuivana. Magneettierotusta käytetään yleisimmin rauta- ja kromimalmien käsittelyssä, mutta se soveltuu tarvittaessa myös osaksi muuta rikastusprosessia. Varsinaisen rikastuksen ohella magneettierottimia voidaan käyttää myös prosessia haittaavan rautaromun tai -silpun erottamiseen esim. hihnakuljettimilta.

2.3.5

Rikasteen kuivaus, varastointi ja kuljetus

Rikastusprosessin lopputuotteena olevat rikasteet ovat metallimalmikaivoksilla yleensä kuiva, hienoksi jauhettu, arvometallit sisältävä mineraaliaines. Kultakaivoksilla lopputuotteena voivat olla myös kultaharkot (Kuva 12).

Ennen varastointia rikasteet kuivataan esim. rumpu-, kiekko- tai paineilmasuotimella. Suodatuksella päästään noin 10 %:n kosteuteen, joka on riittävä varastoinnin ja kuljetuksen kannalta. Lisäksi on mahdollista käyttää myös termistä kuivausta.

Prosessissa tuotetut rikasteet varastoidaan kaivosalueelle odottamaan kuljetusta jatkokäsittelyyn asiakkaalle. Rikasteet varastoidaan kasoissa joko katetuissa varastorakennuksissa tai ulkona, tai lukituissa sisätiloissa (esim. kultaharkot, tynnyreihin pakattu uraanirikaste lukituissa kuljetuskonteissa) (Taulukko 7). Varastointi kasoissa sisätiloissa vähentää rikasteen hävikkiä pölyämisen, liettymisen, tai liukenemisen vaikutuksesta. Ulkona, ilman katosta varastoidaan yleensä vain rikasteita, joiden arvo on vähäinen.

Varaston koko riippuu kuljetustavasta ja kuljetuksen rytmittämisestä, johon vaikuttavat myös asiakkaan tarpeet sekä vastaanottojärjestelmä. Rikaste kuljetetaan yleisimmin junalla, jos kuljetusmatka on pitkä tai rikastemäärä suuri (Kuva 13). Pienemmät kuljetukset tehdään kuorma-autolla.

Rikasteen kansainvälisissä laivakuljetuksissa laivojen rajalliset lastausaikataulut edellyttävät rikasteen välivarastointia myös satamassa, erityisesti bulk-toimituksissa. Konttitoimituksissa varastointi satamassa ei yleensä ole välttämätöntä.

Taulukko 7. Rikasteen varastointi ja kuljetusmenetelmät Suomessa toimivilla metallimalmikaivoksilla.

Kaivos/tuotantolaitos	Tuote	Varastointi	Kuljetus
Kemin kaivos	Cr-rikaste	Varastohalleissa ja tarvittaessa ulkona	Autoilla FeCr-tehtaalle
Pyhäsalmen kaivos	Cu-rikaste	Varastohallissa	Junalla katetuissa vaunuissa
	Zn-rikaste	Varastohallissa	Junalla avovaunuissa, pölynsidonta lignobondilla
	S-rikaste	Avokentällä ja vientirikasteet satamahalleissa	Junalla avovaunuissa, pölynsidonta lignobondilla; Vientirikasteiden jatkokuljetus laivalla
Talvivaaran kaivos	Ni-sakka Zn-sakka	Rikasteet pakataan säiliöihin	Junalla asiakkaalle
Sastamalan rikastamo	Au-rikaste	Varastohallissa	Autolla, peitettynä
			Vientirikasteille laivakuljetus konteissa suursäkkeihin pakattuna
Sotkamon kaivos	Ni-rikaste	Varastohallissa	Junalla, peitettynä



Kuva 13. Rikasteen lastausta junaan Pyhäsalmen kaivoksella. (Kuva Pyhäsalmi Mine Oy)

2.3.6

Energiankulutus ja sen tehokkuus

Kaivostuotannossa tarvitaan yleensä runsaasti sähköenergiaa ja polttoaineita. Kaivoksen sähkönkulutus vaihtelee 12–25 kWh/malmitonni ja rikastamon 30–50 kWh/malmitonni (Hakapää ja Lappalainen 2009). Muu sähkönkulutus on 2–4 kWh/malmitonni.

Tuotannossa käytettävät sähkölaitteet voidaan jakaa seuraaviin ryhmiin (lisätietoja Hakapää ja Lappalainen 2009):

- sähkön siirtoon ja jakeluun liittyvät laitteet kuten voimajohdot, muuntajat ja kaapelit
- sähköenergialla toimivat laitteet kuten sähkömoottorit, valaisimet ja käsityökalut
- ohjaus-, valvonta-, viestintä- ja automaatiolaitteet.

Malmin rikastuksen energiankulutus määräytyy ensisijaisesti käsiteltävän malmin määrän sekä rikastuksessa käytettyjen prosessien ja laitteiden perusteella. Yleensä teholtaan suurimpia sähkömoottoreita käytetään malmikiven jauhatuksessa, varsinkin, kun malmi rikastetaan vaahdotusmenetelmällä. Esimerkiksi Kevitsan kaivoksen jauhinyllyjen moottoritehot ovat luokkaa 7 MW. Myös malmin murskaus, seulonta ja vaahdotus ovat runsaasti energiaa kuluttavia vaiheita, mutta niissä yksittäisten sähkömoottoreiden tai pumppujen tehot ovat kertaluokkaa pienempiä. Vaahdotukseen voi kuluja paljon energiaa, jos vaahdotuspiiri on monimutkainen ja sisältää runsaasti koneita ja laitteita. Taulukkoon 8 on koottu esimerkkejä kotimaisten metallimalmikaivosten energiankulutuksesta.

Taulukko 8. Esimerkkejä Suomessa toimivien metallimalmikaivosten energian kokonaiskulutuksesta ja kulutuksesta käsiteltyä malmitonnia kohti vuonna 2009.

Kaivos/tuotantolaitos	Energian kokonaiskulutus MWh/a	Energiankulutus / malmitonni kWh/t
Kemin kaivos ¹⁾ (sisältää polttoaineet)	57 629	43,5
Kittilän kaivos (sisältää vain sähkön kulutuksen)	104 640	
Pyhäsalmen kaivos (sisältää polttoaineet)	88 814	63,6
Talvivaaran kaivos	Sähkö: 111 000	
	Lämpö: 37 200	
Sastamalan rikastamo (ei sisällä louhinnan energia- kulutusta tai polttoaineita)	6 000	30

¹⁾ tiedot vuodelta 2008, koska vuonna 2009 kaivoksella oli pitkä tuotantokatkos

Sähkömoottoreiden valinta tehdään pääomakustannusten, vahvarakenteisuuden sekä käyttötehokkuuden välillä. Kaivostoiminnassa, jossa moottoreiden teho on iso ja käyttötuntimäärät vuosittain suuria, on tärkeää valita energiatehokkuudeltaan mahdollisimman korkealuokkainen sähkömoottori. Tehokkaamman moottorin korkeampi hankintahinta tulee normaalisti säästetyksi alemmina energiakustannuksina 1–2 vuoden kuluessa. IEC 60034-30 määrittää uuden energiatehokkuusluokituksen 3-vaiheisille 50 Hz:n oikosulkumoottoreille. Uusi tehokkuusluokitus on korvannut vanhemmat EFF1, EFF2 ja EFF3 luokat. Taulukossa 9 on kuvattu sähkömoottoreiden tehokkuusluokat.

Prosessissa käytettävät pumput ovat myös merkittäviä energiankuluttajia. Hyvän energiatehokkuuden saavuttamiseksi pumput mitoitetaan ja valitaan käytettäväksi soveltuvimmassa ja tehokkaimmassa käyttöikäyrän pisteessä. Energiatehokkuutta parannetaan tarvittaessa vakionopeus- ja taajuusmuuttajalaitetta käyttämällä.

Taajuusmuuttajia (VSD) käytetään mm. pumppujen nopeuden säätämiseen sekä kuljettimen käynnistämiseen. Niillä säädetään laitteiden nopeutta ja parannetaan

Taulukko 9. Sähkömoottoreiden tehokkuusluokat.

Tehokkuus-luokat	Kuvaus	Vastaavat luokat	Huomautukset
IE1	Perustehokkuus	EFF2	2011 alkaen kaikkien teollisten sähkömoottoreiden täytyy olla vähintään IE2 luokassa
IE2	Korkeatehokkuus	EFF1	2015 alkaen EFF2 moottoreita voidaan asentaa vain jos niitä ohjataan soveltuvalla taajuusmuuttajalla.
IE3	Korkealuokkainen tehokkuus	NEMA Premium	Alkaen 2015 ja 2017, ainoastaan IE3 tai erittäin korkean luokan moottoreita voidaan myydä Euroopassa luokassa 7,5–375kW
IE4	Erittäin korkea-luokkainen tehokkuus		Ei ole kaupallisessa tuotannossa

energian käyttöä verrattuna siihen, jos käytettäisiin ylimitoitettua moottoria täydessä vauhdissa huonommalla mekaanisella tehokkuudella. Taajuusmuuttajien avulla varmistetaan pumppujen, myllyjen ja muiden laitteiden tehokas käyttö.

Louhinnassa ja malmin siirrossa sähköenergiaa kuluu mm. seuraaviin kohteisiin (lisätietoja Hakapää ja Lappalainen 2009):

- sähköhydrauliset työkoneet (esim. poraus-, pulttaus- ja rappauskoneet)
- hihnakuuljettimet
- malmin nostolaitteet
- paineilman tuottaminen, ja
- tuuletus.

Lisäksi lastaus- ja kuljetusajoneuvot sekä mahdollisesti kaivostilojen lämmitys kulluttavat polttoaineita.

Vertailuna kaivostoiminnassa tarvittavalle energialle esimerkiksi Pyhäsalmen kaivoksen energiankulutus vastaa n. 10 000 asukkaan kunnan sähkönkulutuksen tasoa. Vertailtaessa asutuksen kulutuslukuihin on kuitenkin huomattava, että asutuskeskuksissa kuluu lämpöenergiaa, jota tuotetaan sähkön lisäksi myös muilla tavoin.

2.3.7

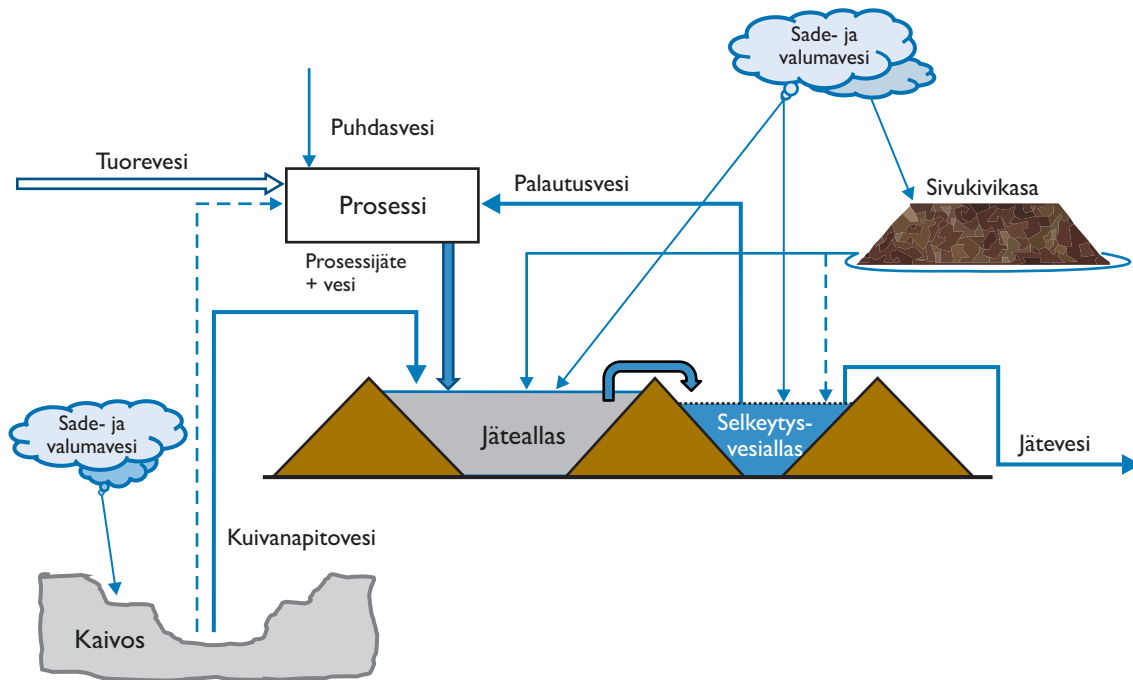
Veden käyttö

Kaivostoiminnassa tarvitaan suuria määriä vettä esimerkiksi seuraaviin tarkoituksiin:

- porausvesi
- varsinainen prosessivesi (jauhatus ja rikastus vesilietteessä)
- tiivistevädet (pumput, imukoneet ym.)
- kemikaalien valmistus
- huuhteluvedet (esim. laitteiden ja lattioiden huuhtelu)
- pesuvedet (esim. suodatinkankaiden pesu), ja
- talousvesi (juomavesi ym.).

Suuri osa vedentarpeesta voidaan yleensä kattaa veden takaisinkierätyksellä eri prosessivaiheista, mutta toiminnassa tarvitaan usein myös riittävän puhdasta tuorevettä. Kierätyismahdollisuudet ovat prosessikohtaisia ja riippuvat mm. prosessissa käytettävistä kemikaaleista (Taulukko 10). Kierätys väkevöittää veden sisältämien aineiden pitoisuuksia. Väkevöitymisen myötä pitoisuudet voivat nousta rikastusprosessia haittaavalle tasolle estäen veden käytön prosessissa.

Tuorevesi otetaan yleensä läheisestä järvestä tai joesta (Taulukko 10). Joissain tapauksissa tuorevetenä voidaan käyttää myös kaivoksen kuivanapitovettä joko sellaisenaan tai käsitellyn (esim. kiintoaineen laskeutus, metallien saostus) jälkeen. Useissa rikastamoissa veden tarve voidaan kattaa lähes täysin veden kierrätyksellä ja kaivoksen kuivanapitoveden käytöllä. Toisinaan tuoreveden suurimittainen otto kaivoksen ulkopuolelta ei ole käytännössä mahdollista. Kaivoksella käytettävä talousvesi ostetaan yleensä erikseen ulkopuoliselta toimittajalta. Osassa prosesseja (mm. suodinkankaiden pesu, kompressorien jäähdytys) voidaan hyödyntää kaivoksen omilla puhdistuslaitteilla (esim. hiekkasuotimilla) puhdistettua vettä. Kuvassa 14 on esitetty yleiskaavio kaivoksen perinteisestä vesikierrrosta.



Kuva 14. Esimerkki kaivoksen perinteisestä vesikaaviosta (Tuorevesi = pintavesi lähivesistöstä; Puhdasvesi = talousvesi).

Taulukko 10. Veden käyttö ja kierrätys: esimerkkejä Suomessa toimivilta metallimalmikaivoksilta vuoden 2009 lukuihin perustuen.

Kaivos/ tuotantolaitos	Vedenotto m ³ /v	Tuoreveden ottopaikka	Kierrätysveden lähteet	Kierrätys %
Kemin kaivos ¹⁾	2 546 900	Selkeytysallas	Selkeytysallas	98
Kittilän kaivos	n. 1 000 000	Seurujoki	Rikastushiekka-allas	65–70
Pyhäsalmen kaivos	4 970 000	Pyhäjärvi	Prosessiin kuuluvan sakeuttimen ylite	18
Talvivaaran kaivos	1 360 000	Kolmisoppijärvi (kaivospiirin sisällä)	Louhoksen kuivanapitovesi, kipsisakka-altaiden vesi	10–20
Sastamalan rikastamo	1 200 000	Kiertovettä	Rikastushiekka-allas, vanha Ni-kaivos	100
Sotkamons kaivos	800 000	Louhoksen kuivanapito	Louhoksen kuivanapitovesi, rikastushiekka-allas	yli 90

¹⁾ tiedot vuodelta 2008, koska vuonna 2009 kaivoksella oli pitkä tuotantokatkos

Tarveaineiden kulutus

Kaivostuotannossa tarvitaan energian ja veden lisäksi erilaisia tuotantotarveaineita, kuten kemikaaleja, jauhinkappaleita, suodatinkankaita yms. Tarveaineiden kulutus riippuu käytössä olevasta prosessista (vrt. Taulukot 5 ja 11).

Taulukko 11. Esimerkkejä merkittävimmistä tuotantotarveaineista Suomessa toimivilla metalli-malmikaivoksilla.

Kaivos/tuotantolaitos	Tarveaineet/kemikaalit
Kemin kaivos	Piirauta, jauhinkuulat, jauhintangot, fokkalantit
Kittilän kaivos	Cu-sulfaatti, natriumsyanidi, K-amylyksantaatti, typpihappo, MIBC (vaahdote), lipeä (NaOH, 50 %), Aerophine 3418, Na-metabisulfaatti, aktiivihiili, kalkki, jauhinkuulat 125 mm, jauhinkuulat 100 mm
Pyhäsalmen kaivos	Na-isobutylyksantaatti, poltettu kalkki, Zn-sulfaatti, Cu-sulfaatti, rikkihappo, Sylvapine (vaahdote), Na-syanidi, typpihappo (suodattimien pesu), etikkahappo (suodattimien pesu), jauhinkuulat
Talvivaaran kaivos	Rikkihappo, rikki, Natronlipeä, nestetyppi, kalkki (poltettu ja kalkkikivi), liitu, propaani, flokkulantit
Sastamalan rikastamo	Na-isobutylyksantaatti, Aerophine 3418A, Danafloat 245, Flopam AN 905 SH (flokkulantit), Dowfroth (vaahdote), jauhinkuulat, jauhintangot
Sotkamons kaivos	Na-etylyksantaatti, Montanol (vaahdote), kuparisulfaatti, alumiinisulfaatti, CMC

Kaivoksen sulkeminen ja jälkihoito

Kaivoalueen sulkeminen ja jälkihoito tulevat ajankohtaiseksi, kun taloudellisesti hyödynnettävä malmi ehtyy, tai kun kaivostoiminta lopetetaan pysyvästi kohteessa. Kaivoslainsäädännöllisesti toiminta katsotaan päättyneeksi, kun kaivoslupa raukeaa tai se peruutetaan (Kaivoslaki 621/2011). Ympäristönsuojelulain mukaan toiminnanharjoittaja vastaa kuitenkin edelleen toiminnan päättyttyä lupamääräysten mukaisesti ympäristön pilaantumisen ehkäisemiseksi tarvittavista toimita, toiminnan vaikutusten selvittämisestä ja tarkkailusta lupapäätöksessä määrätyn ajan (YSL 90 §). Jos toiminnan aikana luovutaan osista kaivosaluetta tai sen apualuetta, toteutetaan niiden osalta sulkemis- ja jälkihoitotoimenpiteet jo luopumisen yhteydessä.

Sulkemisen keskeisenä tavoitteena on saattaa kaivosalue ihmisten terveydelle ja ympäristölle haitattomaan kuntoon. Sulkemissuunnitelmissa tulee huomioida myös alueen uudelleenkäyttötarpeet. Yleensä toiminnan päättyttyä kaivosalueelta poistetaan kaikki tarpeeton infrastruktuuri ja huolehditaan, ettei jäljelle jäävistä rakenteista aiheudu riskejä tai haittoja luonnonympäristölle, ihmisten terveydelle tai alueen jatkokäytölle. Tapauksesta riippuen suljetulle kaivosalueelle jäävät lähinnä jälkihoidetut rikastushiekan ja sivukiven varastointialueet ja louhostilat. Jos kaivosalueen rakennukset ovat hyväkuntoisia ja niille löydetään jatkokäyttömahdollisuuksia, myös niihin liittyvä infrastruktuuri säilytetään. Toisaalta kaivoksen sulkemisessa tulee kuitenkin turvata myös mahdollisten malmiesiintymään jäävien arvoaineiden myöhempi hyödyntäminen ja/tai rakennusten ja jätealueiden jatkokäyttö uuden kaivostoiminnan

tarpeisiin. Tätä varten kaivoksesta laaditaan ennen sulkemista lopetustilanteen mukainen kaivoskartta (KTMP 1218/1995), johon merkitään myös sulkemisessa tehdyt tukirakenteet (Heikkinen *et al.* 2005).

Sulkemisen suunnittelu aloitetaan jo varhaisessa vaiheessa kaivostoiminnan elinkaarta. Ensimmäiset suunnitelmat sulkemisesta ja siihen liittyvistä jälkihoitotoimenpiteistä tehdään jo kaivostoimintaa suunniteltaessa ja kannattavuuslaskelmia tehtäessä, viimeistään kaivoslupaa anottaessa. Tällöin toiminnan laajuudesta, teknisistä ratkaisuista ja toimintojen sijoittamisesta on jo alustavat suunnitelmat olemassa, ja toiminnoille voidaan laatia alustavat sulkemissuunnitelmat, joiden kustannukset voidaan huomioida toiminnan kokonaiskustannuksissa. Varhainen suunnittelu auttaa myös vähentämään toiminnasta aiheutuvia mahdollisia haitallisia ympäristövaikutuksia. Tällainen käytäntö edistää materiaalien tehokasta käyttöä ja sulkemistoimenpiteiden kustannustehokasta toteuttamista. Lainsäädännöllisesti kaivostoiminnalta edellytetään selvitystä toiminnan lopettamiseen liittyvistä toimenpiteistä ja jälkihoitotoimista sekä kaivos- että ympäristölupaa haettaessa.

Toiminnan aikana sulkemissuunnitelmaa päivitetään säännöllisesti vastaamaan toimintaa ja toiminnalle myönnettyjä lupaehtoja. Lopullinen sulkemissuunnitelma esitetään viranomaisille hyväksyttäväksi toiminnan loppuvaiheessa, noin 0,5–1 vuotta ennen sulkemistoimenpiteiden toteuttamista.

Sulkemissuunnitelma sisältää toimenpiteet kaikkien kaivosalueella olevien toimintojen osalta. Toimenpiteet ovat osittain kaivoskohtaisia ja riippuvat mm. malmityypistä ja kaivoksen koosta. Usein osa sulkemistoimenpiteistä voidaan toteuttaa vaiheittain jo toiminnan aikana. Taulukkoon 12 on koottu esimerkkejä sulkemisessa huomioitavista toiminnoista ja niiden sulkemistoimenpiteistä. Lisäksi kaivoksen sulkemiseen liittyviä toimenpiteitä, niiden tavoitteita sekä sulkemisen suunnittelussa käytettäviä tutkimuksia on kuvattu yksityiskohtaisemmin esimerkiksi Kaivoksen sulkemisen käsikirjassa (Heikkinen *et al.* 2005). Taulukossa 13 on esitetty esimerkkejä aiemmin suljetuista metallimalmikaivosalueista Suomessa ja niillä tehdyistä sulkemistoimenpiteistä.

Kaivosalueen sulkemisen jälkeen varmistetaan seurannalla, että tehdyt toimenpiteet, rakenteet ja esimerkiksi vesienkäsittely- ja ojitusjärjestelmät toimivat suunnitellulla tavalla ja sulkemiselle asetetut tavoitteet täyttyvät. Sulkemisen jälkeinen seuranta voi sisältää esim.:

- alueelle jäävien rakenteiden ja louhosalueiden geoteknisen ja visuaalisen seurannan,
- louhosalueiden täyttymisen ja muodostuvan veden laadun seurannan,
- alueella (erityisesti jätealueilla) muodostuvien ja kulkevien vesien määrän ja laadun seurannan,
- vesien puhdistusjärjestelmien toimivuuden seurannan,
- louhosalueiden, rakennetun (rikastamon, lastausalueen, tiestön) alueen ja jätealueiden kasvillistumisen ja maisemoinnin onnistumisen seurannan.

Ympäristön tilan seurantavelvoitteet määritellään ympäristöluvassa (YSL 46 §). Seurannan keston takaraja määräytyy yleensä sen mukaan, kuinka kauan toiminnasta aiheutuu alueella vaikutuksia.

Taulukko 12. Esimerkkejä kaivoksen sulkemisessa tehtävistä toimenpiteistä.

Kohde	Sulkemis- ja jälkihoitotoimenpiteitä
Avolouhos	Maaluskien muotoilu, stabilointi ja kasvillistaminen
	Pystysuorien tai jyrkkien kallioseinämien lujitustoimenpiteet ja loiventaminen alueilla, joissa on sortumariski
	Avolouhoksen aitaaminen ulkopuolisten pääsyn estämiseksi; rakentamisrajoitukset
	Avolouhokseen johtavien tieyhteyksien sulkeminen
	Kuivanapitopumppauksen lopettaminen ja louhoksen täyttyminen vedellä; vesien kerääminen ja käsittely tarvittaessa
Maanalainen kaivos	Jätteiden ja muiden pohjavesien pilaantumisvaaraa aiheuttavien materiaalien, koneiden ja laitteiden poistaminen louhostiloista
	Louhostilojen tukeminen ja täyttäminen sortumien estämiseksi
	Kaivoksen turvallisuudeksi tehtyjen rakenteiden säilyttäminen
	Kaivokseen johtavien vinotunneleiden, ilmanvaihtokuilujen ja teiden sulkeminen sivullisten pääsyn estämiseksi
	Maanpinnan lujitustoimenpiteet sekä maisemoiminen
	Sortuma- ja painumavaarallisten alueiden rajaaminen ja aitaaminen; rakentamisrajoitukset
	Kuivanapitopumppauksen lopettaminen ja kaivostilojen täyttyminen vedellä; louhoksessa olevien ja louhoksen ylivuotovesien kerääminen ja käsittely
Sivukivikasat	Mahdollinen käyttö louhostilojen tai avolouhoksen täytössä ja stabiloinnissa / loppusijoittaminen louhoksiin
	Maan pinnalle jäävien kasojen stabilointi ja muotoilu, peittäminen ja kasvillistaminen; mahdolliset alueen käyttörajoitukset
	Valumavesien kerääminen ja käsittely
Rikastushiekka-alue	Mahdollinen käyttö louhostilojen täytössä ja stabiloinnissa
	Selkeytysaltaiden tyhjentäminen
	Loppusijoituksen kannalta tarpeettomien rakenteiden purkaminen (esim. selkeytysaltaiden padot)
	Jäljelle jäävän alueen stabilointi ja muotoilu, peittäminen ja kasvillistaminen
	Mahdolliset alueen käyttörajoitukset
	Valuma- ja suotovesien kerääminen ja käsittely
Maanpoistomassat	Hyödyntäminen kaivosalueen maisemoinnissa
Rikastamo ja muut rakennukset, varikko-alueet ja infrastruktuuri	Tarpeettomien ja huonokuntoisten rakenteiden ja rakennusten purkaminen
	Purkumateriaalien lajitteleminen, kierrätys, myyminen ja/tai toimitus loppusijoitettavaksi
	Hyödynnettävissä olevien rakennusten siistiminen ja myyminen
	Jättemateriaalien toimittaminen loppusijoitettavaksi
Koneet ja laitteet	Hyötykäyttömahdollisuuksien arvioiminen
	Hyväkuntoisten laitteiden ja materiaalien myyminen tai kierrätys
Kaivosalueen maapohja	Pilaantumisen ja kunnostustarpeen arvioiminen
	Kunnostus tarvittaessa
Kaivosalueen vedet	Heikkolaatuisten vesien kokoaminen ojitusjärjestelyillä
	Käsittely aktiivisilla tai passiivisilla menetelmillä

Taulukko 13. Esimerkkejä suljetuista metallimalmikaivosalueista Suomessa. (Lähteitä: Kuusisto 1991, Puustinen 2003)

Kohde	Toiminta-aika	Louhitut arvoaineet	Louhintamäärät (Mt)	Jälkihoitotoimenpiteitä
Aijala, Metsämonttu	1949–1958	Cu, Zn;	0,9	Kaivoskuilut on aidattu.
	1952–1974	Cu, Zn, Pb, Fe, Ag	1,7	Rikastushiekka-alue Aijalassa on osittain kevyesti peitetty ja se on kasvillistunut luontaisesti peitetyillä alueilla.
Keretti	1913–1989	Cu, Zn, Co, Ni, Zn, Au	34,9	Osa kaivosrakennuksista on museoitu tai suojeltu. Rikastushiekka-alue on peitetty ja kasvillistettu.
				Osa rikastushiekka-alueesta on muutettu golfkentäksi.
				Rikastushiekka-alueen vesiä käsitellään kosteikolla.
Kotalahti	1959–1987	Ni, Cu	13,7	Alue on osittain aidattu ja varustettu kieltokylteillä. Kaivosalueen rakennuksia on otettu uudelleen käyttöön.
				Jälkihoitotoimenpiteet alueella ovat parhaillaan käynnissä.
Luikonlahti ¹⁾	1968–1983	Cu, Zn, Ni, Co, S	10,0	Kaivosalue on maisemoitu.
	1979–2006	Talkki, Ni		Sivukivikasat on muotoiltu, peitetty ja maisemoitu.
				Rikastushiekka-alueen ja kaivosalueen vesiä käsitellään kosteikoilla.
Otanmäki	1953–1985	Fe, Ti, V	33,0	Osa kaivosrakennuksista on uudelleen käytössä junanvaunutehtaana.
				Rikastushiekka-altaan selkeytysallas toimii lintu-altaana.
Paroistenjärvi	1943–1966	Cu, W, As	4,2	Kaivosalue on puolustusvoimien tutkimuslaitoksen käytössä.
				Osa toisesta rikastushiekka-alueesta, avolouhos ja maanalaiset kaivostilat on peitetty vedellä (ovat Paroistenjärven alla).
Paukkajanvaara ²⁾	1958–1961	U	0,03	Infrastruktuuri on purettu. Alue on varustettu kieltokyltein ja osittain aidattu. Sivukivi- ja rikastushiekka-alueet on peitetty ja maisemoitu.
Vihanti	1951–1991	Zn, Cu, Pb, Ag	30,8	Osa kaivosalueen rakennuksista on uudelleen käytössä.
				Rikastushiekka-alue on peitetty ja maisemoitu.
				Rikastushiekka-alueen vesiä käsitellään kosteikolla.
				Rikastushiekka-alue toimii virkistysalueena.

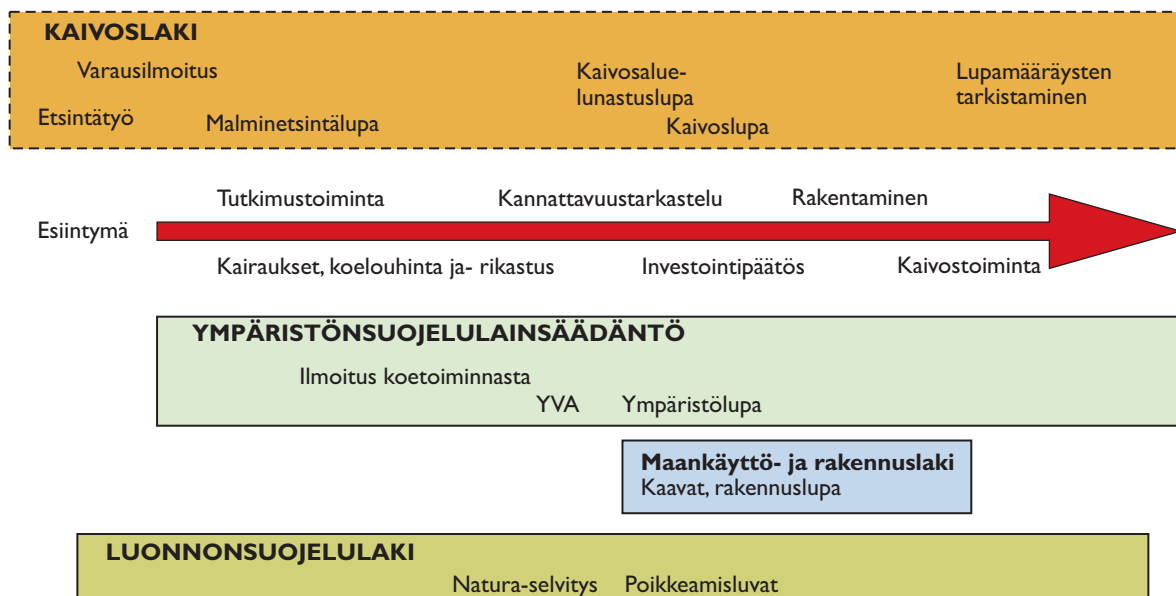
¹⁾ Luikonlahden rikastamo ja rikastushiekka-alue ovat alueen uudella omistajalla käytössä.

²⁾ Vain koelouhintaa ja -rikastustoimintaa.

3 Kaivostoimintaa koskeva lainsäädäntö

Kaivostoiminnan aloittaminen ja harjoittaminen edellyttää useita hallinnollisia lupaita niihin rinnastettavia muita menettelyjä (Kuva 15). Kaivoskivennäisten hyödyntäminen edellyttää kaivoslain (621/2011) mukaista kaivoslupaa ja tutkimustoiminta malminetsintälupaa. Kaivoksella, rikastamolla ja kaivannaisjätteen jätealueilla on myös oltava ympäristönsuojelulain (86/2000) nojalla annettu ympäristölupa. Kaivos-hankkeen vesistöihin ja pohjaveteen vaikuttavat toimet edellyttävät puolestaan vesilain (587/2011) mukaista lupaa. Metallikaivosten parhaat ympäristökäytännöt ovat keskeisellä sijalla ympäristö- ja vesitalouslupa-asioita ratkaistaessa (Taulukko 14).

Kaivosalueen rakentaminen edellyttää usein maankäyttö- ja rakennuslain (132/1999) mukaisten kaavojen laatimista ja käytännössä aina rakennuslupien hankkimista (Kuva 15). Kemikaalien ja räjähdysaineiden käyttöä ja varastointia kaivosalueella säädellään kemikaalilailla (744/1989) ja vaarallisten kemikaalien ja räjähteiden käsittelyn turvallisuudesta annetulla lailla (390/2005). Rauhoitettujen eläin- ja kasvilajien rauhoitussäännöksistä poikkeaminen edellyttää luonnonsuojelulain (1096/1996) mukaisen luvan (Taulukko 14).



Kuva 15. Kaavio kaivostoimintaan liittyvistä hallinnollisista lupa- ja selvitysmenettelyistä.

Taulukko 14. Keskeiset kaivoshankkeiden ympäristönsuojeluun liittyvät lait ja asetukset.

Laki, asetus tai päätös	Numero	Mitä kaivoksen päästöjä tai toimintoja erityisesti koskee
Kaivoslaki*	621/2011	kaivosmineraalien etsintään ja hyödyntämiseen liittyvät säädökset
Ympäristönsuojelulaki	86/2000	pilaantumisen estämisen yleislaki
Ympäristönsuojeluasetus	169/2000	
Laki ympäristövaikutusten arvioinnista	486/1994	YVA-laki
Asetus ympäristövaikutusten arvioinnista	713/2006	
Luonnonsuojelulaki	1096/1996	alueiden käyttöön vaikuttavat suojelusäännökset
Luonnonsuojeluasetus	160/1997	alueiden käyttöön vaikuttavat suojelusäännökset
Vesilaki	587/2011	vesistöön rakentaminen, veden ottaminen, rakentamisen vaikutukset pohjavesiin ja vesistöihin
Laki vesien hoidon ja merenhoidon järjestämisestä	1299/2004	rakentamisen vaikutukset vesistöön
Patoturvallisuuslaki	494/2009	vesi- ja jätepatoja koskevat vaatimukset
VNA vesiympäristölle vaarallisista ja haitallisista aineista, asetuksen muutos 2010	1022/2006 868/2010	päästöt vesiin (sis. nikkelin ympäristölaatuunormin)
VNA yhdyskuntajätevesistä	888/2006	päästöt vesiin (talousjätevedet)
VNA kivenlouhimoiden, muun kivenlouhinnan ja kivenmurskaamojen ympäristönsuojelusta	800/2010	em. toimintaa koskevat vaatimustasot keskeisten päästöjen suhteen
VNA ilmanlaadusta	711/2001	päästöt ilmaan
VNA ilmassa olevasta arseenista, kadmiumista, elohopeasta, nikkelistä ja polysyklisistä aromaattisista hiilivedyistä	164/2007	päästöt ilmaan
VNA polttoaineteholtaan alle 50 MW:n energian tuotantoyksikköjen ympäristönsuojeluvaatimuksista	445/2010	energiantuotantoyksiköt
VNA raskaan polttoöljyn, kevyen polttoöljyn ja meriliikenteessä käytettävän kaasuöljyn rikkipitoisuudesta	689/2006	päästöt ilmaan
VNp ilmanlaadun ohjearvoista ja rikkilaskeuman tavoitearvoista	480/1996	päästöt ilmaan
VNA nestemäisten polttoaineiden jakeluasemien ympäristönsuojeluvaatimuksista	444/2010	jakeluasemia koskevat vaatimustasot keskeisten päästöjen suhteen
VNp melutason ohjearvoista	993/1992	melupäästöt
VNA maaperän pilaantuneisuuden ja puhdistustarpeen arvioinnista	214/2007	päästöt maaperään, kiviaineksen ja kaivannaisjätteen hyödyntäminen
Jätelaki	646/2011	jätteet
Jäteasetus	1390/1993	jätteet
VNA kaivannaisjätteistä	379/2008	kaivannaisjätteet
VNA kaivannaisjätteistä annetun asetuksen muuttamisesta	717/2009	kaivannaisjätteet (liitteet)
VNp öljyjätehuollosta	101/1997	jätteet
VNp rakennusjätteistä	295/1997	jätteet
VNp kaatopaikoista	861/1997	jätteet
VNp ongelmajätteistä annettavista tiedoista sekä ongelmajätteiden pakkaamisesta ja merkitsemisestä	659/1996	jätteet
YMA yleisimpien jätteiden ja ongelmajätteiden luettelosta	1129/2001	jätteet
Asetus vaarallisten kemikaalien teollisesta käsittelystä ja varastoinnista	59/1999	kemikaalit
VNA räjäytys- ja louhintatyön turvallisuudesta	644/2011	räjähteet
Laki vaarallisten kemikaalien ja räjähteiden käsittelyn turvallisuudesta	390/2005	kemikaalit ja räjähteet

* Kaivoslakiin valmisteilla olevat asetukset: kaivosasetus, kaivosturvallisuusasetus ja asetus kaivosten nostolaitoksista.

Kaivoslain mukaiset luvat ja menettelyt

Uusi kaivoslaki (621/2011) tuli voimaan 1.7.2011. Laki korvasi kaivoslain 503/1965 (vanha kaivoslaki). Kaivoslaissa säädetään kaivosmineraaleja sisältävän esiintymän etsinnästä ja hyödyntämisestä, kullanhuhdonnasta valtion omistamalla alueella ja näihin liittyvän toiminnan lopettamisesta sekä kaivostoimituksesta.

Kaivoslaissa on määritelty ne kaivosmineraalit, jotka kuuluvat lain soveltamisalaan ja joiden löytäjällä on etuoikeus niiden hyödyntämiseen. Kaivoslainsäädännön soveltamisalaan kuuluvat sellaiset kaivosmineraalit ja kivilajit, joiden esiintymät ovat harvinaisia ja sattumanvaraisia, ja jotka siksi edellyttävät ammattitaitoista malminetsintää ja huomattavaa taloudellista riskinottoa. Kaivosmineraalien luettelon perusteita ovat lisäksi olleet tekninen ja taloudellinen hyödynnettävyys sekä geologisesti perustellut oletukset siitä, millaisia kaivosmineraaleja Suomessa voi esiintyä. Kaivosluvan haltija saa hyödyntää kaivostoiminnassa syntyvät sivutuotteet sekä muut kaivosalueen kallio- ja maaperään kuuluvat aineet siltä osin kuin niiden käyttö on tarpeen kaivostoimintaan kaivosalueella. Muutoin kiven, soran, hiekan, saven ja mullan ottamiseen sovelletaan maa-aineslakia.

Malminetsintä

Jokaisella on toisenkin alueella oikeus tehdä kaivosmineraalien löytämiseksi geologisia mittauksia ja havaintoja sekä ottaa vähäisiä näytteitä, jos toimenpiteistä ei aiheudu vahinkoa eikä vähäistä suurempaa haittaa tai häiriötä (etsintätyö). Etsintätyötä koskeva säännös antaa hieman laajemmat oikeudet kuin jokamiehenoikeudet ja yleiset käyttöoikeudet. Jokamiehenoikeudet eivät ulotu maankamaran aineiden ottamiseen, mikä etsintätyössä on mahdollista.

Kaivoslaissa on määritelty alueet, joilla etsintätyö maan pinnalla on lähtökohtaisesti kielletty. Tällaisia alueita ovat muun muassa hautausmaat ja yksityiset haudat, puolustusvoimien käytössä olevat alueet sekä yleisessä käytössä olevat liikenne- ja kulkuväylät. Etsintätyötä ei myöskään saa tehdä 150 metriä lähempänä asumiseen tai työntekoon tarkoitettua rakennusta tai yksityistä piha-alueita. Etsintätyö on kielletty puutarhatalouden käytössä olevalla alueella ja 50 metriä lähempänä yleistä rakennusta tai laitosta. Muilla kuin hautausmaiden ja yksityisten hautojen alueella etsintätyötä saa kuitenkin tehdä asiassa toimivaltaisen viranomaisen tai laitoksen taikka asianomaisen oikeudenhaltijan luvalla.

Malminetsintään on oltava kaivosviranomaisen lupa (malminetsintälupa), jos

- malminetsintää ei voida toteuttaa etsintätyönä tai kiinteistön omistaja ei ole antanut siihen suostumustaan.
- malminetsinnästä voi aiheutua haittaa ihmisten terveydelle, yleiselle turvallisuudelle tai muulle elinkeinotoiminnalle taikka maisemallisten tai luonnonsuojeluarvojen heikentymistä.
- malminetsintä kohdistuu uraania tai toriumia sisältävän esiintymän paikallistamiseen ja tutkimiseen.
- tarvitaan/halutaan etuoikeus esiintymän hyödyntämiseen.

Malminetsintää koskevat samat aluerajoitukset kuin etsintätyötä. Lisäksi malminetsintää varten vaaditaan asiassa toimivaltaisen viranomaisen tai laitoksen taikka asianomaisen oikeudenhaltijan suostumus, kun kyseessä on:

- maankäyttö- ja rakennuslaissa tarkoitettu katualue tai tori,
- maantieteellisesti tarkoitettu maantien tiealue,
- ilmailulaissa tarkoitettu lentopaikka ja muu ilmailua palveleva alue,

- ratalaissa tarkoitettu rautatiealue,
- yleistä liikennettä varten käytetty kanava tai muu vastaava liikennealue,
- tai 30 metriä lähempänä mainittuja liikennealueita sijaitseva alue, jollei mainituksa tai muussa laissa säädetä tai sen nojalla määrätä tätä leveämpää suoja-aluetta.

Malminetsintäluvan nojalla luvanhaltijalla on oikeus omalla ja toisen maalla luvassa tarkoitettulla alueella (malminetsintäalue) tutkia geologisten muodostumien rakenteita ja koostumusta sekä tehdä muita kaivostoimintaa valmistelevia tutkimuksia ja muuta malminetsintää esiintymän paikallistamiseksi sekä sen laadun, laajuuden ja hyödyntämiskelpoisuuden selvittämiseksi sen mukaan kuin malminetsintäluvassa tarkemmin määrätään. Malminetsintäluvan haltija saa rakentaa tai siirtää malminetsintäalueelle tutkimustoimintaa varten tarpeellisia väliaikaisia rakennelmia ja laitteita sen mukaan kuin malminetsintäluvassa tarkemmin määrätään. Malminetsintälupa ei oikeuta esiintymän hyödyntämiseen.

Malminetsintäluvan haltijan on rajoitettava malminetsintä ja muu malminetsintäalueen käyttö tutkimustyön kannalta välttämättömiin toimenpiteisiin. Toimenpiteet on suunniteltava siten, ettei niistä aiheudu kohtuudella vältettävissä olevaa yleisen tai yksityisen edun loukkausta. Malminetsintäluvan nojalla tapahtuvasta malminetsinnästä ja muusta malminetsintäalueen käytöstä ei saa aiheutua haittaa ihmisten terveydelle tai vaaraa yleiselle turvallisuudelle, olennaista haittaa muulle elinkeinotoiminnalle, merkittäviä muutoksia luonnonolosuhteissa, harvinaisten tai arvokkaiden luonnonesiintymien olennaista vahingoittumista eikä merkittävää maisemallista haittaa.

Malminetsintälupa vastaa pääosin vanhan kaivoslain mukaista valtausoikeutta. Malminetsintäalueen kokoa ei ole rajoitettu. Vanhan kaivoslain mukainen valtausalue saa olla enintään yhden neliökilometrin suuruinen.

Malminetsintälupa on voimassa enintään neljä vuotta päätöksen lainvoimaiseksi tulosta. Malminetsintäluvan voimassaoloa voidaan jatkaa enintään kolme vuotta kerrallaan siten, että lupa on voimassa yhteensä enintään viisitoista vuotta. Vanhan kaivoslain mukaan valtaus voi olla voimassa enintään kahdeksan vuotta. Malminetsintälupa raukeaa määräajan päättyessä. Kaivosviranomaisen voi päättää, että malminetsintälupa raukeaa, jos toiminta on ollut keskeytyneenä luvanhaltijasta riippuvasta syystä yhtäjaksoisesti vähintään vuoden. Luvanhaltija on velvollinen tekemään raukeamista koskevan hakemuksen, jos tarkoituksena ei enää ole harjoittaa lupaan perustuvaa toimintaa.

Malminetsintäluvan haltijan on suoritettava malminetsintäalueeseen kuuluvien kiinteistöjen omistajille vuotuinen malminetsintäkorvaus. Malminetsintäkorvauksen vuotuinen suuruus kiinteistöä kohti on 20 euroa hehtaarilta malminetsintäluvan voimassaolon ensimmäiseltä neljältä vuodelta, 30 euroa hehtaarilta viidenneltä, kuudennelta ja seitsemänneltä vuodelta, 40 euroa hehtaarilta kahdeksannelta, yhdeksänneltä ja kymmenenneltä vuodelta ja 50 euroa hehtaarilta yhdenneltätoista vuodelta ja sen jälkeisiltä vuosilta.

Malminetsintäluvan haltijan on asetettava vakuus mahdollisen vahingon ja haitan korvaamista sekä jälkitoimenpiteiden suorittamista varten, jollei tätä ole pidettävä tarpeettomana toiminnan laatu ja laajuus, toiminta-alueen erityispiirteet, toimintaa varten annettavat lupamääräykset ja luvan hakijan vakavaraisuus huomioon ottaen. Lupaviranomainen määrää vakuuden lajin ja suuruuden.

3.1.2

Varaus

Malminetsintälupahakemuksen valmistelua varten hakija voi varata itselleen alueen tekemällä asiasta ilmoituksen kaivosviranomaiselle (varausilmoitus). Varausilmoitus

ei saa koskea aluetta, joka kuuluu malminetsintäalueeseen, kaivosalueeseen tai kullanhuuhdonta-alueeseen taikka sijaitsee yhtä kilometriä lähempänä tällaista aluetta, joka kuuluu muulle kuin hakijalle kaivoslaissa tarkoitetun luvan perusteella. Varausilmoitus ei myöskään saa koskea aiemmin varausalueena ollutta aluetta, ennen kuin vuosi on kulunut varauspäätöksen raukeamisesta tai peruuttamisesta.

Varauspäätös on voimassa enintään kaksi vuotta siitä, kun varausilmoitus on tehty (vanhan kaivoslain mukainen voimassaoloaika on enintään yksi vuosi varausilmoituksen tekemisestä). Kaivosviranomaisen on varauspäätöksen voimassaolon pituutta harkitessaan otettava huomioon erityisesti tutkimussuunnitelman laadintaan ja muihin malminetsintälupahakemuksen valmisteleviin toimenpiteisiin tarvittava aika. Varauspäätös raukeaa määräajan päättyessä. Varauspäätös raukeaa myös, kun sen tuottamalla etuoikeudella on haettu malminetsintälupaa kaivoslaissa säädetyllä tavalla. Kaivosviranomaisen on lisäksi päätettävä, että varauspäätös raukeaa, jos varaaja tekee asiasta kirjallisen ilmoituksen kaivosviranomaiselle.

3.1.3

Kaivostoiminta

Kaivoksen perustamiseen ja kaivostoiminnan harjoittamiseen on oltava kaivoslupa. Kaivoslupa oikeuttaa hyödyntämään kaivosalueella tavatut kaivosmineraalit, kaivostoiminnassa sivutuotteena syntyvän orgaanisen ja epäorgaanisen pintamateriaalin, ylijäämäkiven ja rikastushiekan sekä muut kaivosalueen kallio- ja maaperään kuuluvat aineet siltä osin kuin niiden käyttö on tarpeen kaivostoimintaan kaivosalueella. Kaivoslupa oikeuttaa lisäksi malminetsintään kaivosalueella.

Kaivoslupan haltija on velvollinen huolehtimaan siitä, että kaivostoiminnasta ei aiheudu haittaa ihmisten terveydelle tai vaaraa yleiselle turvallisuudelle tai huomattavaa haittaa yleiselle tai yksityiselle edulle eikä kaivostoiminnan kokonaiskustannukset huomioon ottaen kohtuudella vältettävissä olevaa yleisen tai yksityisen edun loukkausta. Kaivoslupan haltija ei saa louhia ja hyödyntää kaivosmineraaleja siten, että kyse olisi ilmeisestä kaivosmineraalien tuhlauksesta. Kaivoslupan haltijan on myös huolehdittava siitä, että kaivoksen ja esiintymän mahdollista tulevaa käyttöä ja louhimistyötä ei vaaranneta tai vaikeuteta.

Kaivosalueen on oltava yhtenäinen alue, ja sen tulee suuruudeltaan ja muodoltaan olla sellainen, että turvallisuutta, kaivostoiminnan sijoittamista ja kaivostekniikkaa koskevat vaatimukset täyttyvät. Kaivosalue ei saa olla suurempi kuin mitä kaivostoiminta välttämättä edellyttää ottaen huomioon kysymyksessä olevan esiintymän laatu ja laajuus. Kaivoksen apualueeksi voidaan määrätä sellainen kaivostoiminnan kannalta välttämätön kaivosalueen vieressä sijaitseva alue, joka on tarpeen teitä, kuljetuslaitteita, voima- tai vesijohtoja, viemäreitä, vesien käsittelyä tai riittävään syvyyteen maan pinnasta louhittavaa kuljetusväylää varten. Kaivosalueen ja kaivoksen apualueen sijainti on suunniteltava siten, että niistä ei aiheudu kaivostoiminnan kokonaiskustannukset huomioon ottaen kohtuudella vältettävissä olevaa yleisen tai yksityisen edun loukkausta.

Kaivostoiminnan harjoittaja voi hankkia kaivostoimintaa varten tarvittavan alueen omistus- tai käyttöoikeuden joko sopimusteitse tai hakea kaivosaluelunastuslupaa valtioneuvostolta. Kaivosaluelunastuslupa voidaan myöntää, jos kaivoshanke on yleisen tarpeen vaatima. Yleisen tarpeen vaatimusta arvioidaan erityisesti kaivoshankkeen paikallis- ja aluetaloudellisten sekä työllisyysvaikutusten ja yhteiskunnan raaka-ainehuollon tarpeen perusteella. Alueiden käyttöoikeuksien lunastaminen ja muiden erityisten oikeuksien lunastaminen suoritetaan kaivostoimituksessa, jossa alueella toimivalla maanmittaustoimistolla on toimivalta. Vanhan kaivoslain mukaan kaivosoikeuden haltijalla on suoraan lain perusteella käyttöoikeus kaivospiirin aluee-

seen. Kaivosluvassa voidaan myöntää rajoitettu käyttö- tai muu oikeus kaivoksen apualueeseen. Oikeus voidaan myöntää vain siltä osin kuin alueelle suunniteltujen toimintojen sijoittamista ei muutoin voida järjestää tyydyttävästi ja kohtuullisin kustannuksin.

Kaivoslupan myöntämisen edellytyksenä on, että esiintymä on kooltaan, pitoisuudeltaan ja teknisiltä ominaisuuksiltaan hyödyntämiskelpoinen. Esiintymän kokoa ja pitoisuutta voidaan pitää riittävänä, jos esiintymän hyödyntämisestä saatavat tulot kattavat käyttökustannukset ja takaavat vaadittavan tuoton esiintymän hyödyntämiseen sijoitetulle pääomalle. Arvioitavista teknisistä ominaisuuksista tärkeimmät ovat louhintatekniset ja rikastustekniset ominaisuudet.

Kaivoslupaa ei saa myöntää, jos on painavia perusteita epäillä, että hakemuksen käsittelyn yhteydessä ilmenneistä syistä hakijalla ei ole edellytyksiä tai ilmeisesti tarkeitustakaan huolehtia kaivostoiminnan aloittamisesta, taikka hakija on aikaisemmin olennaisesti laiminlyönyt kaivoslakiin perustuvia velvollisuuksia. Laiminlyöntien olennaisuutta arvioitaessa on otettava huomioon erityisesti laiminlyöntien suunnitelmallisuus, niiden kesto ja toistuvuus sekä laiminlyönneistä aiheutuneiden vahinkojen määrä. Lupaa ei myöskään saa myöntää, jos kaivostoiminta aiheuttaa vaaraa yleiselle turvallisuudelle, aiheuttaa huomattavia vahingollisia ympäristövaikutuksia tai heikentää merkittävästi paikkakunnan asutus- ja elinkeino-oloja eikä mainittua vaaraa tai vaikutuksia voida lupamääräyksin poistaa.

Kaivoslupa on voimassa toistaiseksi. Toistaiseksi voimassa olevan kaivoslupan määräyksiä tarkistetaan vähintään kymmenen vuoden välein. Lupa voidaan myös myöntää määräajaksi perustellusta syystä. Määräaikainen kaivoslupa voi olla voimassa enintään kymmenen vuotta päätöksen lainvoimaiseksi tulosta. Määräajan voimassa olevalle kaivosluvalle voidaan myöntää jatkoaikaa toistaiseksi tai enintään kymmenen vuotta kerrallaan.

Kaivoslupa raukeaa määräajan päättyessä. Lupaviranomaisen on päätettävä, että kaivoslupa raukeaa, jos luvanhaltija ei ole kaivosluvassa annetussa määräajassa aloittanut kaivostoimintaa tai ryhtynyt muuhun sellaiseen valmistavaan työhön, joka osoittaa luvanhaltijan vakavasti pyrkivän varsinaiseen kaivostoimintaan. Lupaviranomaisen on myös päätettävä, että kaivoslupa raukeaa, jos kaivostoiminta on ollut keskeytyneenä luvanhaltijasta riippuvasta syystä yhtäjaksoisesti vähintään viisi vuotta tai kaivostoiminnan voidaan katsoa tosiasiallisesti päättyneen. Lupaviranomainen voi kuitenkin enintään kahdesti lykätä kaivoslupan raukeamista ja antaa uuden määräajan kaivostoiminnan aloittamiseksi tai määräajan toiminnan jatkamiseksi. Luvan raukeamista voidaan lykätä enintään yhteensä kymmenellä vuodella. Lupaviranomaisen on lisäksi päätettävä, että kaivoslupa raukeaa, jos kaivosalue ei kuulu luvanhaltijalle tai luvanhaltija ei ole saanut sitä haltuunsa viiden vuoden kuluessa luvan myöntämisestä taikka luvanhaltija tekee asiaa koskevan hakemuksen. Luvanhaltija on velvollinen tekemään hakemuksen, jos tarkoituksena ei enää ole harjoittaa kaivostoimintaa.

Kaivoslupan haltijan on maksettava kaivosalueeseen kuuluvien kiinteistöjen omistajille vuotuinen louhintakorvaus. Louhintakorvauksen vuotuinen suuruus kiinteistöä kohti on 50 euroa hehtaarilta. Lisäksi metallimalmikaivoksilla maksetaan louhintakorvauksena 0,15 prosenttia vuoden aikana louhitun ja hyödynnetyn metallimalmin kaivosmineraalien lasketusta arvosta. Sitä laskettaessa otetaan huomioon malmin sisältämien hyödynnettyjen metallien keskiarvohinta vuoden aikana ja muiden malmin hyödynnettyjen tuotteiden keskimääräinen arvo vuoden aikana.

Kaivoslupan haltijan on asetettava kaivostoiminnan lopetus- ja jälkitoimenpiteitä varten vakuus, jonka on oltava riittävä kaivostoiminnan laatu ja laajuus, toimintaa varten annettavat lupamääräykset ja muun lain nojalla vaaditut vakuudet huomioon ottaen. Lupaviranomainen määrää vakuuden lajin ja suuruuden.

YVA-, luonnonsuojelu-, ympäristönsuojelu-, vesi- sekä maankäyttö- ja rakennuslakien mukaiset luvat ja menettelyt

Toiminnanharjoittajan yleinen selvilläolovelvollisuus

Ympäristönsuojelulain (YSL) 5 §:n mukaan toiminnanharjoittajan on oltava riittävästi selvillä toimintansa ympäristövaikutuksista, ympäristöriskeistä ja haitallisten vaikutusten vähentämismahdollisuuksista. Jos toiminnasta aiheutuu tai uhkaa välittömästi aiheutua ympäristön pilaantumista, toiminnanharjoittajan on viipymättä ryhdyttävä tarpeellisiin toimenpiteisiin pilaantumisen ehkäisemiseksi tai jos pilaantuminen on jo aiheutunut, sen rajoittamiseksi mahdollisimman vähäiseksi. Nämä velvoitteet koskevat mm. malminetsintää ja kaivostoimintaa ja niistä vastaavia.

Malminetsintävaiheessa saattaa esim. tutkimuskaivannoista (ks. luku 2.1.1) aiheutua alueen pinnan muotojen ja elinympäristöjen muutoksia ja muita ympäristövaikutuksia. Joissakin tapauksissa niistä voi aiheutua merkittäviäkin haitallisia vaikutuksia, esim. lähteiden ja muiden arvokkaiden elinympäristöjen sekä kasvillisuuden tuhoutumisia. Toisaalta nämä vaikutukset ovat yleensä vältettävissä, kun kohdealueesta tehdään riittävät selvitykset ja kun ne myös otetaan huomioon toimenpiteiden suunnittelussa ja toteutuksessa. Ennen kuin tutkimuskaivantojen tekoon ja muihin kohdealuetta muuttaviin toimiin ryhdytään, kohdealueella on tarpeen tehdä vähintäänkin elinympäristö- ja kasvillisuuskartoitukset sekä suurten petolintujen pesäpaikkojen kartoitus.

Suunnitelluista tutkimuskaivannoista ja muista toimenpiteistä, joilla muokataan tai muutetaan kohdealueen ympäristöä, on aiheellista tehdä ilmoitus alueelliselle tai paikalliselle valvontaviranomaiselle (Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus eli ELY-keskus tai kunnan ympäristönsuojeluviranomainen). Tällöin viranomaisilla on mahdollisuus pyytää tarvittaessa lisätietoja sekä ohjeistaa toiminnanharjoittajaa haitallisten ympäristövaikutusten välttämiseksi.

Koetoimintailmoitus

Kaivostoiminnan aloittamispäätöksen tekeminen edellyttää pääsääntöisesti riittävän laajassa mittakaavassa toteutettua koerikastusta ja siihen syötettävän malmin louhintaa suunnitellulla kaivosalueella (ks. luku 2.1.1). Koerikastus tehdään yleensä muualla kuin itse kaivosalueella. Rikastukseen tarvittavan malmierän irrottaminen tapahtuu lyhyenä ajanjaksona, muutaman kuukauden aikana. Koelouhinnasta aiheutuu päästöjä, joista voi aiheutua ympäristön pilaantumista tai sen vaaraa. Koelouhinta muuttaa myös alueen pinnanmuotoja ja maisemakuvaa. Lisäksi se voi muuttaa läheisten alueiden vesitaloutta.

Koelouhinta ja -rikastus on jo varsin vakiintuneesti katsottu ympäristönsuojelulain (YSL) 30 §:n 2 momentissa tarkoitetuksi koeluonteiseksi toiminnaksi, josta tulee tehdä ilmoitus (YSL 61 §:n) toimivaltaiselle ympäristölupaviranomaiselle. Ilmoitusmenettely on osoittautunut käytännössä toimivaksi kaikkien osapuolten kannalta. Mikäli koelouhinta on pitkäkestoinen ja siitä muodostuu esimerkiksi huomattava määrä kaivannaisjätteitä, voidaan toiminnalta edellyttää jo tässä vaiheessa ympäristölupaa (ks. luku 3.2.5).

Ilmoituksesta annettavassa päätöksessä annetaan tarpeelliset määräykset mm. ympäristön pilaantumisen ehkäisemiseksi sekä alueen jälkihoidosta. Tehtävässä

ilmoituksessa on esitettävä soveltuvin osin vastaavat asiat kuin ympäristölupahakemuksessa. Ilmoituksen tarkoittama toiminta saadaan aloittaa 30 vuorokauden kuluessa ilmoituksen tekemisestä.

3.2.2

Ympäristövaikutusten arviointi

Ympäristövaikutusten arviointimenettelystä (YVA) annetun lain (468/1994) ja asetuksen (713/2006) mukaisen ympäristövaikutusten arviointimenettelyn tavoitteena on edistää ympäristövaikutusten tunnistamista, arviointia ja huomioonottamista hankkeiden suunnittelussa ja päätöksenteossa, lisätä kansalaisten tiedonsaantia ja osallistumismahdollisuuksia sekä tarkastella keinoja haitallisten vaikutusten vähentämiseksi. On tärkeää huomata, että YVA-laissa (2 §) ympäristövaikutus on määritelty laajasti. YVA-menettelyssä arvioidaan hankkeen välittömiä ja välillisiä vaikutuksia mm. ihmisen terveyteen, elinoloihin ja viihtyvyyteen, alueen elinympäristöihin, eliöihin ja luonnon monimuotoisuuteen, yhdyskuntarakenteeseen, maisemaan ja kulttuuriperintöön sekä luonnonvarojen hyödyntämiseen. Ihmiseen kohdistuvien vaikutusten eli ns. sosiaalisten vaikutusten arviointi on keskeinen osa YVA-menettelyä (ks. luku 4.3.2).

YVA-menettelyssä ei tehdä hanketta koskevia päätöksiä vaan tuotetaan monipuolista tietoa päätöksenteon pohjaksi. YVA-menettelyssä tuotetaan yleensä suuri osa mm. hankkeen ympäristölupakäsittelyssä tarvittavista tiedoista. Menettelyn kuluessa hankkeen vaikutusalueen asukkaat ja asiasta kiinnostuneet saavat tietoa hankkeesta ja mahdollisuuden vaikuttaa osaltaan sen toteuttamiseen. Hyvin suunniteltu ja toteutettu eri intressitahojen osallistaminen edesauttaa merkittävästi myös sosiaalisten vaikutusten arviointia.

Ympäristövaikutusten arviointimenettely on kaksivaiheinen koostuen ympäristövaikutusten arviointiohjelmasta (YVA-ohjelma) ja arviointiselostuksesta (YVA-selostus) sekä niihin liittyvistä kuulemis- ja lausuntokierroksista. YVA-menettelyn alussa hankkeesta vastaava (kaivosyhtiö) toimittaa yhteysviranomaiselle YVA-ohjelman. Se on hankkeesta vastaavan suunnitelma siitä, miten ympäristövaikutukset aiotaan selvittää ja arviointimenettely toteuttaa. Siinä kuvataan mm. suunniteltu hanke, sen toteuttamisvaihtoehdot ja -aikataulu, hankkeen edellyttämät luvat ja suunnitelmat, alueen ympäristö, suunnitelma kansalaisten osallistumisen järjestämiseksi sekä menetelmät ja selvitykset, joiden pohjalta ympäristövaikutusten arviointi toteutetaan (YVA-asetus 9 §). Yhteysviranomaisen lausunnossa arviointiohjelmasta tarkastellaan mm. ohjelman asianmukaisuutta sekä tarvittaessa ohjataan käynnistynyttä YVA-menettelyä YVA-laissa esitettyjen tavoitteiden täyttymiseksi.

Hankkeesta vastaava (kaivosyhtiö) tekee YVA-ohjelman sekä siitä annettujen lausuntojen ja mielipiteiden perusteella tarvittavat selvitykset ja arvioinnit hankkeen vaikutuksista sekä laatii YVA-selostuksen. Siinä kuvataan suunniteltu (kaivos) hanke sekä sen eri toteutusvaihtoehdot ja kohdealueen ympäristö, esitetään mm. vaikutusarviointien ja vaihtoehtotarkastelujen tulokset sekä niissä käytetyt aineistot ja menetelmät, haitallisten ympäristövaikutusten vähentämismahdollisuudet ja hankkeen vaikutusten alustava seurantaohjelma sekä tarkastellaan mahdollisia onnettomuustilanteita ja hankkeen ympäristöriskejä (YVA-asetus 10 §). Toiminnan vaikutukset arvioidaan hankkeen eri toimintavaiheille ja toteutusvaihtoehdoille (ks. luku 5.2). Yhteysviranomaisen lausunnossa arviointiselostuksesta tarkastellaan mm. selostuksen riittävyttä, vaikutusarviointien, vaihtoehtotarkastelujen ja haittojen lieventämismahdollisuuksien selvittämisen asianmukaisuutta sekä kansalaisten osallistumismahdollisuuksien järjestämistä ja toteutumista.

YVA-lain mukainen arviointi tulee tehdä ennen kuin hankkeen toteuttamiseksi on ryhdytty ympäristövaikutusten kannalta olennaisiin toimiin. Ympäristövaikutusten

arviointiselostus ja yhteisviranomaisen siitä antama lausunto liitetään hankkeen toteuttamista varten tarvittaviin lupahakemuksiin (mm. ympäristölupahakemus, hakemus kaivosoikeuksien saamiseksi ja kaivospiiriin määrittämiseksi). Lupapäätöksistä on käytävä ilmi, miten arviointiselostus ja siitä annettu yhteisviranomaisen lausunto on otettu huomioon.

Kaivoshankkeiden kohdalla YVA-menettely on tarpeen, kun metallimalmien tai muiden kaivoskivennäisten louhinnassa, rikastamisessa ja käsittelyssä irrotettavan aineksen kokonaismäärä on vähintään 550 000 tonnia vuodessa tai avolouhoksen pinta-ala on yli 25 hehtaaria. Myös kooltaan näitä kriteerejä vastaavat kaivoshankkeiden muutokset edellyttävät YVA-menettelyä. Lisäksi arviointimenettelyä sovelletaan yksittäistapauksissa hankkeisiin tai niiden olennaisiin muutoksiin, joista voi todennäköisesti aiheutua laadultaan ja laajuudeltaan mainitut kriteerit täyttävien hankkeiden vaikutuksiin rinnastettavia merkittäviä haitallisia ympäristövaikutuksia (ns. harkinnanvarainen YVA-menettely). Harkintakriteerit yksittäistapauksille on esitetty YVA-asetuksen 7 §:ssä. Yhteisviranomaisena YVA-menettelyssä toimii sijaintialueen ELY-keskus, joka tekee myös päätöksen harkinnanvaraisen YVA:n soveltamisesta.

Kaivoshankkeen ympäristövaikutusten selvittämistä ja arviointia tarkastellaan lähemmin luvussa 5.

3.2.3

Natura-arviointi

Luonnonsuojelulain 65 §:n mukainen Natura-arviointi- ja lausuntomenettely koskee hanketta, joka joko yksistään tai tarkasteltuna yhdessä muiden hankkeiden tai suunnitelmien kanssa todennäköisesti merkittävästi heikentää Natura 2000 -verkostoon sisällytetyn alueen niitä luonnonarvoja, joiden suojelemiseksi alue on sisällytetty tai tarkoitus sisällyttää Natura 2000 -verkostoon. Menettelyn tarkoituksena on varmistaa, että hankkeen vaikutukset Natura-alueiden suojelutavoitteisiin arvioidaan asianmukaisesti ja että lupaviranomaiset voivat varmistua ennen hankkeen hyväksyntää, ettei hanke vaikuta haitallisesti alueen suojeluperusteisiin. Natura-alueiden suojeluperusteita voivat olla luontodirektiivin (92/43/ETY) liitteen I mukaiset luontotyytit tai liitteessä II mainittujen lajien elinympäristöt (ns. SCI-alueet), sekä lintudirektiivin (2009/147/EY) liitteessä I mainittujen lintulajien elinympäristöt tai alueella säännöllisesti esiintyvien muuttolintujen elinympäristö (ns. SPA-alueet). Alueen luonne (SCI tai SPA) ratkaisee arvioinnin kannalta keskeiset lajit ja luontotyytit.

Natura 2000 -verkostoon sisällytettyyn alueeseen kohdistuvien vaikutusten arvioiminen eli Natura-arviointi on tarpeen kaivoshankkeissa, jos toiminta (malminetsintä tai varsinainen kaivostoiminta) tapahtuu Natura-alueella tai jos hankkeen vaikutukset voivat ulottua Natura-alueelle. Malminetsinnän vaikutusten arviointi tulisi tehdä niin varhain, että arviointi voidaan liittää valtaushakemukseen. Varsinaisen kaivostoiminnan vaikutusten arviointi tulisi toteuttaa ennen kuin hankkeen toteuttamiseen tarvittavia lupia (esim. ympäristölupa) ryhdytään hakemaan. YVA-menettelyä edellyttävissä kaivoshankkeissa, joiden lähialueella on Natura-alueita, tarvitaan yleensä aina myös Natura-arviointi. Tällöin Natura-arviointi voidaan ja on myös järkevä tehdä osana YVA-menettelyä. Ne voidaan toteuttaa myös erillisinä prosesseina.

Käytännössä Natura-arviointi ja lausuntomenettely on yleensä yksinkertaisinta ja selväpiirteisintä toteuttaa suoraan LSL:n 65 §:n mukaisesti. Vaihtoehtoisesti Natura-arvioinnin tarve voidaan selvittää olemassa olevien tietojen perusteella. Tässä tarvearvioinnissa tarkastellaan, ylittyykö varsinaisen Natura-arvioinnin kynnys vai ei. Jos arvio osoittaa, että hanke todennäköisesti heikentää merkittävästi Natura-alueen suojeluarvoja, tai että hankkeella on vaikutuksia Natura-alueisiin, käynnistetään varsi-

nainen Natura-arviointi- ja lausuntomenettely. Tällainen kaksivaiheinen menettely on etenkin kaivoshankkeissa osoittautunut tarpeettoman monimutkaiseksi.

Natura-arviointi toimitetaan käytännössä yleensä ennen varsinaisia lupakäsittelyjä ko. alueen ELY-keskukselle sekä alueenhaltijaviranomaiselle (yleensä Metsähallitus), jotka antavat siitä LSL:n 65 §:n 2 momentissa tarkoitetun lausunnon. Hankkeesta vastaava ja sen valitsevat konsultit käyvät tavallisesti myös Natura-arvioinnin toteutusta koskevat neuvottelut ELY-keskuksen ja haltijaviranomaisen kanssa ennen kuin arviointiin ryhdytään. Tarvittaessa neuvonpitoa mm. arvioinnin laajuudesta ja riittävydestä jatketaan arvioinnin aikana.

Natura-arviointi sekä siitä annetut ELY-keskuksen ja alueen haltijaviranomaisen lausunnot liitetään yleensä lupahakemuksiin ja toimitetaan ao. lupaviranomaisille. Mikäli Natura-arviointia ja siitä annettuja lausuntoja ei ole liitetty hakemusasiakirjoihin, lupaviranomaisten tulee pyytää ne luvan hakijalta. Lupaviranomaisten on joka tapauksessa varmistettava, että arviointi on tehty.

Jos Natura-arviointi tehdään osana YVA-lain mukaista YVA-menettelyä, on Natura-arvioinnin oltava oma kokonaisuutensa. YVA-menettelyn yhteydessä tehtävässä Natura-arvioinnissa vaikutukset Natura-alueiden suojeluarvoihin arvioidaan yleensä kunkin YVA-menettelyssä esitetyn, Natura-alueisiin vaikuttavan vaihtoehdon suhteen. ELY-keskus ja luonnonsuojelualueen haltijaviranomainen antavat Natura-arviointiosuudesta yleensä erilliset, nimenomaan Natura-arviointia koskevat lausunnot. Natura-arviointi ja siitä annetut lausunnot liitetään lupahakemusasiakirjoihin, kuten YVA-selostukseen ja siitä annettuun yhteisviranomaisen lausuntoon (luku 3.2.2.).

Viranomainen ei saa myöntää lupaa hankkeen toteuttamiseen, jos Natura-arviointi- ja lausuntomenettely osoittaa hankkeen merkittävästi heikentävän niitä luonnonarvoja, joiden suojelemiseksi alue on sisällytetty Natura 2000 -verkostoon. Lupa voidaan kuitenkin myöntää, jos valtioneuvosto yleisistunnossaan päättää, että hanke on toteutettava erittäin tärkeän yleisen edun kannalta pakottavasta syystä eikä vaihtoehtoista ratkaisua ole (LSL 66 §). Jos alueella on luontodirektiivin liitteessä I tarkoitettu ensisijaisesti suojeltava luontotyyppi tai liitteessä II tarkoitettu ensisijaisesti suojeltava laji, on lisäksi edellytyksenä, että ihmisen terveyteen, yleiseen turvallisuuteen tai ympäristölle muualla koituviin erittäin merkittäviin suotuisiin vaikutuksiin liittyvä syy taikka muu erittäin tärkeän yleisen edun kannalta pakottava syy vaatii luvan myöntämisestä. Viimeksi mainitussa tapauksessa asiasta on hankittava EY:n komission lausunto (LSL 66 §). Jos päätökset johtavat siihen, että Natura 2000-verkostoon sisällytetyn alueen suojelu lakkautetaan tai rauhoitusmääräyksiä lievennetään ja ne johtavat Natura 2000-verkoston yhtenäisyyden tai luonnonarvojen heikentymiseen, ympäristöministeriön on ryhdyttävä välittömästi toimenpiteisiin, joilla heikentymisen korvataan (LSL 69 §).

Natura-arvioinnin sisältöä on kuvattu tarkemmin luvussa 5.2.2.

3.2.4

Luonnonsuojelulain mukaiset luvat

Malminetsintä ja kaivostoiminta voivat edellyttää lukuisia lupia poiketa luonnonsuojelulain (LSL) rauhoitus- ja suojelusäännöksistä. Seuraavassa esitetään keskeisimmät rauhoitusmääräykset sekä tarpeelliset poikkeamisluvat ja niiden edellytykset.

3.2.4.1

Lajien suojelu

Luonnonsuojelulaissa on eri tavalla ja erilaisella suojelustatuksella suojeltuja lajeja ja lajien elinympäristöjä.



a)

b)

Kuva 16. Esimerkkejä Suomen uhanalaisista kasvilajeista: (a) tikankontti (*Cypripedium Calceolus*) ja (b) serpentiinipikkutervakko (*Lychnis Alpina* var *serp.*), joka on myös erityisesti suojeltava kasvilaji. (Kuvat Pekka Helo)

Kaikkien luonnonsuojelulaissa ja asetuksessa mainittujen lajien huomioon ottaminen kaivoshankkeen suunnittelussa ja toteutuksessa on tärkeää luonnon monimuotoisuuden säilymisen kannalta. Kuitenkin vain osa luonnonsuojelulaissa ja -asetuksessa mainituista lajeista ja niiden elinympäristöistä ovat sellaisia, että niihin vaikuttavat toimenpiteet vaativat alueellisen ELY -keskuksen luvan poiketa luonnonsuojelulain suojelusäännöksistä.

Uhanalaiset lajit

Luonnonsuojelulain 46 §:n ja luonnonsuojeluasetuksen 21 §:n tarkoittamat uhanalaiset kasvit ja eläimet on lueteltu luonnonsuojeluasetuksen liitteessä 4 (esim. tikankontti ja serpentiinipikkutervakko, Kuva 16a–b). Näihin lajeihin tai niiden elinympäristöihin kohdistuvat toimet eivät vaadi alueellisen ELY-keskuksen lupaa, ellei niitä ole merkitty tähdellä (*) tai mainittu luonnonsuojeluasetuksen liitteissä 2, 3a–c tai 5 (ks. seuraavat kappaleet).

Erityisesti suojeltavat lajit

Luonnonsuojeluasetuksen liitteessä 4 tähdellä (*) merkityt lajit ovat uhanalaisuutensa lisäksi luonnonsuojelulain 47 §:n tarkoittamia erityisesti suojeltavia lajeja (esimerkkejä Kuvassa 16). Niiden esiintymispaikan hävittäminen tai heikentäminen on kielletty, mikäli ELY-keskus on tehnyt esiintymän rajausta koskevan luonnonsuojelulain 47 §:n mukaisen päätöksen. Tällöin esiintymän hävittäminen tai heikentäminen vaatii aina alueellisen ELY-keskuksen myöntämän luvan poiketa luonnonsuojelulain rauhoitussäännöksistä. Mikäli valtausalueella ja/tai suunnitellun kaivospiirin alueella tai niiden läheisyydessä on erityisesti suojeltujen lajien esiintymiä, on toiminnanharjoittajan aina syytä käydä keskustelu ELY-keskuksen kanssa esiintymän mahdollisesta rajaamisesta tai jo olemassa olevan rajauksen asettamista rajoituksista.

Rauhoitetut lajit

Luonnonsuojelulain 37 §:n ja 38 §:n mukaan kaikki Suomessa luonnonvaraisina esiintyvät nisäkkäät ja linnut ovat rauhoitettuja lukuun ottamatta metsästyslain 5 §:ssä tarkoitettuja riistaeläimiä ja rauhoittamattomia eläimiä. Rauhoitetut kasvit ja muut rauhoitetut eläimet kuin luonnonvaraiset linnut ja nisäkkäät on lueteltu luonnonsuojeluasetuksen liitteissä 2–3 (a, b ja c).

Luonnonsuojelulain 39 §:n mukaan rauhoitettujen eläinten tahallinen tappaminen tai pyydystäminen on kielletty. Myös rauhoitettujen eläinten pesien, munien ja yksilöiden tai muiden kehitysasteiden ottaminen haltuun, siirtäminen toiseen paikkaan tai muu tahallinen vahingoittaminen on kielletty. Lisäksi rauhoitettujen eläinten tahallinen häiritseminen, erityisesti niiden lisääntymisaikana, tärkeillä muuton aikaisilla levähdysalueilla tai muutoin niiden elämänkierron kannalta tärkeillä paikoilla on kielletty. Edellä mainittu pykälä ei rajoita normaalia liikkumista luonnossa, vaan tarkoittaa tahallista toimintaa, josta on häiriötä rauhoitetuille eläimille. Edellä mainitun lisäksi sellainen suuren petolinnun pesäpuu, jossa on asianmukainen merkki tai kyltti on aina rauhoitettu. Myös maakotkan, merikotkan, kiljukotkan, pikkukiljukotkan ja sääksen eli kalasääksen sellainen pesäpuu, jossa on selvästi nähtävissä oleva pesä, joka on säännöllisessä käytössä, on aina rauhoitettu. Näin ollen näiden suurten petolintujen pesäpuiden kaataminen ja vahingoittaminen on kielletty.

Rauhoitetun kasvin tai sen osan poimiminen, kerääminen, irtileikkaaminen, juurineen ottaminen tai hävittäminen on kielletty (LSL 42 §).

Mainituista rauhoitussäännöksistä poikkeaminen edellyttää alueellisen ELY-keskuksen lupaa. Jos esim. rauhoitetun kasvilajin esiintymä häviää tai uhkaa hävitä malminetsinnän tai kaivostoiminnan seurauksena, ei toimenpiteeseen voida ryhtyä, ennen kuin hävittämiseen on saatu ELY-keskuksen lupa.

EU:n luonto- ja lintudirektiivin lajit

Luonnonsuojelulain 47 §:n mukaan Euroopan neuvoston lintudirektiivin (2009/147/EY) 4 artiklan 2 kohdassa tarkoitettujen lintujen ja saman direktiivin liitteessä I lueteltujen lintujen sekä Euroopan neuvoston luontodirektiivin (1997/62/EY) liitteessä II lueteltujen kasvi- ja eläinlajien esiintymäpaikkojen suotuisan suojelutason saavuttamisen tai säilyttämisen kannalta merkittävien esiintymäpaikkojen hävittäminen tai heikentäminen on kielletty. Kielto astuu voimaan sen jälkeen, kun ELY-keskus on tehnyt esiintymän rajausta koskevan luonnonsuojelulain 47 §:n mukaisen päätöksen. Mikäli ko. esiintymä on rajattu luonnonsuojelulain 47 §:n mukaisella ELY-keskuksen päätöksellä, vaatii esiintymän hävittäminen tai heikentäminen aina alueellisen ELY-keskuksen myöntämän luvan poiketa luonnonsuojelulain rauhoitussäännöksistä (LSL 48 §). Näiden lajien esiintymien osalta on syytä käydä keskustelu ELY-keskuksen kanssa esiintymän mahdollisesta rajaamisesta tai jo mahdollisesti olemassa olevasta rajauksesta.



Kuva 17. Esimerkki luontodirektiivin liitteen IV eläinlajeista, Viitasammakko (*Rana Arvalis*), jonka lisääntymis- ja levähdyspaikkoja koskee heikentämis- ja hävittämiskielto. (Kuva Pekka Helo)

Luonnonsuojelulain 49 §:n ja luonnonsuojeluasetuksen 23 §:n mukaan luontodirektiivin liitteessä IV (a) tarkoitettuihin eläinlajeihin kuuluvien yksilöiden lisääntymis- ja levähdyspaikkojen hävittäminen ja heikentäminen on kielletty ilman ELY-keskuksen lupaa. Lajit, joita tämä levähdys- ja lisääntymispaikkojen heikentämis- ja hävittämiskielto koskee, on lueteltu luonnonsuojeluasetuksen liitteessä 5. Tyypillisiä eläinlajeja, joita voi tulla vastaan kaivoshankkeiden yhteydessä, ovat mm. liito-orava ja viitasammakko (ks. Kuva 17).

Luonnonsuojelulain 49 §:n mukaan lintudirektiivin artiklassa 1 tarkoitettujen lintujen, lukuun ottamatta metsästyslaissa tarkoitettuja riistalintuja ja rauhoittamattomia lintuja, ja liitteessä IV(b) lueteltujen kasvien sekä luontodirektiivin liitteessä IV(a) lueteltujen eläinten, lukuun ottamatta metsästyslain 5 §:ssä tarkoitettuja riistaeläimiä ja rauhoittamattomia eläimiä, niiden osien tai johdannaisien hallussapito, kuljetus, myyminen ja vaihtaminen sekä tarjoaminen myytäväksi ja vaihdettavaksi on kielletty. ELY-keskus voi yksittäistapauksessa myöntää luvan poiketa 1 momentin kiellosta sekä 2 momentissa tarkoitettujen eläin- ja kasvilajien osalta 39 §:n, 42 §:n 2 momentin sekä 47 §:n 2 ja 5 momentin kielloista luontodirektiivin artiklassa 16 (1) mainituilla perusteilla. Vastaavasti lintudirektiivin artiklassa 1 tarkoitettujen lintujen osalta voidaan myöntää poikkeus sanotun direktiivin artiklassa 9 mainituilla perusteilla.

3.2.4.2

Luontotyyppien suojelu

Suomen uhanalaisista luontotyypeistä on laadittu 2008 julkaisu (Raunio *et al.* 2008). Kaikkien uhanalaisten luontotyyppien huomioon ottaminen suunnittelussa ja rakentamisessa on tärkeää luonnon monimuotoisuuden säilymisen kannalta, mutta vain osa uhanalaisista luontotyypeistä on sellaisia, että niihin vaikuttavat toimenpiteet vaativat alueellisen ELY-keskuksen luvan poiketa luonnonsuojelulain suojelusäännöksistä.

Luonnonsuojelulain 29 §:ssä ja luonnonsuojeluasetuksen 10 §:ssä on lueteltu luonnonsuojelulailla suojellut luontotyypit. Näitä ovat:

1. Luonnontilaiset tai luonnontilaiseen verrattavat luontaisesti syntyneet, merkittäviltä osin jaloista lehtipuista koostuvat metsiköt
2. Pähkinäpensaslehdot
3. Tervaleppäkorvet
4. Luonnontilaiset hiekkarannat
5. Merenrantaniityt
6. Puuttomat tai luontaisesti vähäpuustoiset hiekkadyynit
7. Katajakedot
8. Lehdesniityt
9. Avointa maisemaa hallitsevat suuret yksittäiset puut ja puuryhmät.

Luonnonsuojelulain 29 §:n tarkoittamia luontotyypppejä ei saa muuttaa niin, että luontotyypin ominaispiirteiden säilyminen kyseisellä alueella vaarantuu. Tämä kielto astuu voimaan sen jälkeen, kun alueellinen ELY-keskus on tehnyt luontotyypin rajauksen koskevan luonnonsuojelulain 30 §:n mukaisen päätöksen. Mikäli ko. esiintymä on rajattu luonnonsuojelulain 30 §:n mukaisesti vaatii luontotyypin ominaispiirteiden hävittäminen tai heikentäminen aina alueellisen ELY-keskuksen myöntämän luvan poiketa luonnonsuojelulain rauhoitussäännöksistä (LSL 31 §).

Näiden luontotyyppien osalta on aina syytä käydä keskustelu alueellisen ELY-keskuksen kanssa luontotyypin mahdollisesta rajaamisesta tai jo olemassa olevan rajauksen asettamista rajoituksista.

3.2.5

Ympäristö- ja vesitalouslupa

Ympäristönsuojelulakia sovelletaan toimintaan, josta aiheutuu tai voi aiheutua ympäristön pilaantumista. Lisäksi lakia sovelletaan toimintaan, jossa syntyy jätettä, sekä jätteen hyödyntämiseen tai käsittelyyn. Ympäristön pilaantumisella tarkoitetaan ympäristönsuojelulaissa toiminnasta johtuvaa aineen, energian, melun, värinän, säteilyn, lämmön tai hajun päästämistä tai jättämistä ympäristöön, jonka seurauksena aiheutuu haittoja.

Ympäristölupaa edellytetään kaikelta ympäristön pilaantumisen vaaraa aiheuttavalta toiminnalta. Ympäristönsuojeluasetuksessa on kaikissa tilanteissa lupaa edellyttäviksi toiminnoiksi listattu mm. kaivostoiminta, malmin tai mineraalin rikastamo sekä kaivannaisjätteen jätealue. Näille toiminnoille ei ole asetuksessa määrätty toiminnan laajuuteen liittyvää lupakynnystä, vaan ympäristölupa on tarpeen toiminnan koosta riippumatta.

Ympäristölupa on yhtenäislupa, jossa käsitellään ja ratkaistaan samalla päätöksellä kaikki toiminnasta ympäristön pilaantumista aiheuttavat päästöasiat. Päätöksessä annetaan tarpeelliset määräykset ympäristön pilaantumisen ja sen vaaran ehkäisemiseksi sekä jätteistä ja jätehuollosta jätelain ja sen nojalla annettujen säännösten noudattamiseksi. Lisäksi päätöksessä on otettava tarpeen mukaan huomioon energian

käytön tehokkuus sekä varautuminen onnettomuuksien ehkäisemiseen ja niiden seurausten rajoittamiseen. Ympäristölupa on edellä mainitun mukaisesti päästölupa, eikä siinä ratkaista esimerkiksi alueen käyttöön ja omistusolosuhteisiin liittyviä asioita.

Kaivosten ympäristölupa-asiat ratkaistaan hakemuksesta aluehallintovirastoissa. Lupahakemuksen sisällölle on annettu yksityiskohtaiset määräykset ympäristönsuojeluasetuksen 8–13 §:ssä. Kaivostoiminnan lupahakemuksessa on oltava mm. kattava kuvaus suunnitellusta toiminnasta, toiminta-alueen ympäristöstä, toiminnasta aiheutuvista päästöistä ja niiden vaikutuksista ympäristöön. Isoissa hankkeissa merkittävä osa selvityksistä voidaan tehdä osana YVA-prosessia. Olennaista hakemusasiakirjoissa on, että suunnitellun hankkeen laajuus ja päästöt sekä niiden vaikutukset esitetään ja arvioidaan riittävän tarkalla tasolla. Lupahakemuksen laatimisessa pitää sekä hakijalla että mahdollisesti käytettävällä konsultilla olla riittävä asiantuntemus. Lupaviranomaisena toimiva aluehallintovirasto antaa tarvittaessa tarkempia neuvoja hakemuksen sisällöstä ja laajuudesta.

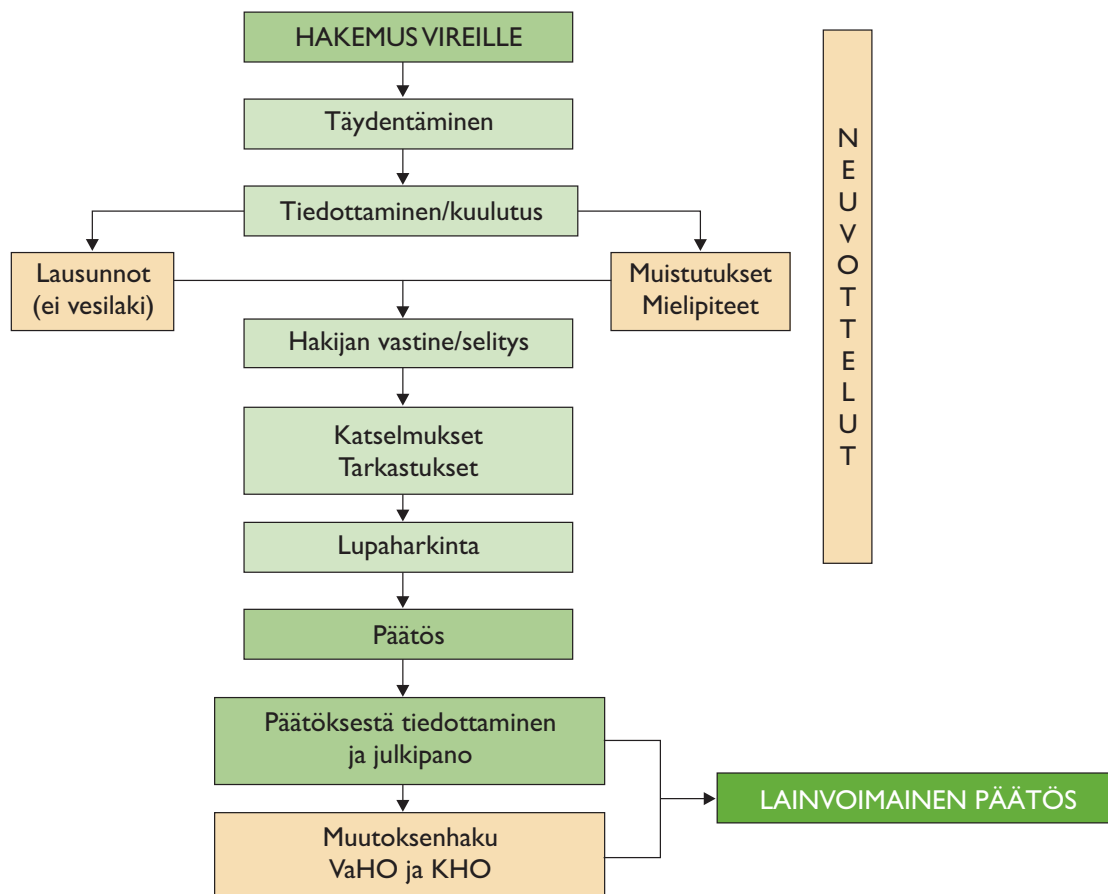
Vireille tulleesta ympäristölupahakemuksesta tiedotetaan kuuluttamalla toiminnan sijaintikunnan ilmoitustaululla (Kuva 18). Kuuluttamisesta ilmoitetaan alueella yleisesti leviävässä sanomalehdessä. Hakemuksesta pyydetään lausunnot mm. sijaintikunnalta, kunnan ympäristönsuojeluviranomaiselta ja alueen ELY-keskukselta. Lupaviranomainen voi toiminnan päästöihin ja niiden vaikutuksiin liittyen pyytää lausuntoja myös ympäristönsuojeluasetuksen tarkoittamilta asiantuntijaviranomaisilta ja -laitoksilta, kuten Ilmatieteen laitokselta ja Geologian tutkimuskeskukselta. Lupaviranomainen lähettää lisäksi kirjeellä erikseen tiedon hakemuksesta kaikille niille, joita toiminnan päästöjen ja niiden vaikutusten arvioidaan erityisesti koskevan. Asianosaisilla on mahdollisuus jättää hakemuksesta muistutuksia tai mielipiteitä. Luvan hakijalta pyydetään vastine annettuihin lausuntoihin, muistutuksiin ja mielipiteisiin.

Vireille tulleet ympäristölupa-asiat pyritään ratkaisemaan alle vuoden kuluessa hakemuksen vireille tulosta. Hakemusasian käsittelyä voi viivästyttää etenkin puutteellinen tai lupahakemuksen käsittelyn aikana muuttuva hakemus.

Lupapäätöksessä tarkastetaan, että toiminta täyttää ympäristönsuojelulain ja jätelain sekä niiden nojalla annettujen asetusten ja valtioneuvoston päätösten mukaiset vaatimukset. Lupa-asiaa ratkaistaessa on lisäksi noudatettava, mitä luonnonsuojelulaissa säädetään. Ympäristöluvan myöntämisen edellytyksenä on, että toiminnasta ei aiheudu terveyshaittaa, muuta merkittävää ympäristön pilaantumista tai sen vaaraa, maaperän tai pohjaveden pilaantumista, erityisten luonnonolosuhteiden huonontumista tai kohtuutonta räsytystä naapureille. Pilaantumisen merkittävyyttä arvioitaessa on otettava huomioon mm., mitä vesienhoidon ja merenhoidon järjestämisestä annetun lain (1299/2004) mukaisessa vesienhoitosuunnitelmassa on esitetty toiminnan vaikutusalueen vesien tilaan ja käyttöön liittyvistä seikoista. Päästöistä aiheutuvan pilaantumisen estämiseksi ympäristöluvassa annetaan tarpeelliset lupamääräykset.

Kaivoshankkeiden aiheuttaman pilaantumisen tai sen vaaran osalta keskeisiä kohtia ovat päästöt vesiin, melu, värinä, pöly ja muut päästöt ilmaan sekä muodostuvien kaivannaisjätteiden käsittely ja loppusijoitus. Pääosin päästöistä aiheutuvat haitat ovat aina rajoitettavissa teknisten tai muiden toimien avulla tasolle, jossa niistä ei aiheudu luvan myöntämisen esteenä olevia vaikutuksia. Rajoittamistoimista aiheutuvat kustannukset ja niiden vaikutus kaivoksen kannattavuuteen ovat keskeinen seikka arvioitaessa esimerkiksi kaivoksen avaamispäätöksen tekemisen mahdollisuuksia. Mikäli kaivostoiminta sijaitsee lähellä asutusta tai muuta häiriintyvää kohdetta, voidaan ympäristöluvassa asettaa toiminta-aikarajoituksia esimerkiksi melua tai värinää aiheuttaville toiminnoille. Ympäristöluvassa annetaan myös tarpeelliset määräykset toiminnan lopettamiseen liittyvistä jälkihoitotoista, kuten jätealueiden sulkemisesta ja maisemoinnista, sekä määrätään asetettavaksi riittävät vakuudet jätehuollon varmistamiseksi ja kaivannaisjätteen jätealueiden sulkemisen ja jälkihoidon toteuttamiseksi.

Annetusta päätöksestä on mahdollista valittaa Vaasan hallinto-oikeuteen ja edelleen korkeimpaan hallinto-oikeuteen (Kuva 18). Mikäli päätöksestä valitetaan aina korkeimpaan hallinto-oikeuteen asti, kestää lainvoimaisen päätöksen saaminen 1,5–3 vuotta ensimmäisen asteen päätöksen antamisesta.



Kuva 18. Ympäristölupahakemuksen käsittelyprosessi.

3.2.5.1

Kaivannaisjäteasiat

Kaivannaisjäteasetuksella (379/2008) ja sen muutoksilla (717/2009 ja 1816/2009) on annettu yksityiskohtaisemmat määräykset koskien kaivostoiminnassa muodostuvien kaivannaisjätteiden käsittelyä. Asetuksen soveltamisalaan kuuluvat kaikki kaivostoiminnassa muodostuvat maa- ja kiviainesjätteet riippumatta siitä, käyvätkö ne lävitseen louhinta- tai rikastusprosessissa fysikaalisia tai kemiallisia muutoksia. Maa- tai kiviaineksen luokittelu jätteeksi tapahtuu jätelain nojalla. Asetuksen soveltamisalaan eivät kuulu toiminnassa muodostuvat tuotteet. Otettaessa huomioon kaivostoiminnassa tyypillisesti muodostuva jätteen suuri määrä, on asetus yksi keskeisimmistä kaivostoiminnan harjoittamiseen vaikuttavista säännöksistä.

Toiminnoissa, joissa muodostuu kaivannaisjätteitä, on laadittava ympäristönsuojelulain 45a §:n, 103a §:n ja 103b §:n sekä kaivannaisjäteasetuksen (717/2009) mukainen kaivannaisjätteen jätehuoltosuunnitelma (ks. myös luku 5.4.1). Suunnitelma on laadittava siten, että ehkäistään kaivannaisjätteen syntyä ja vähennetään sen haitallisuutta sekä edistetään jätteen hyödyntämistä ja turvallista käsittelyä. Suunnitelmassa on oltava mm. tiedot muodostuvien jätteiden määristä, ominaisuuksista, kuvaus jätteiden

den hyödyntämisestä, selvitys kaivannaisjätteen jätealueesta ja sen ympäristöstä sekä luokituksesta, selvitys maaperän ja pohjaveden tilasta jätealueella ja sen läheisyydessä, tiedot jätealueen vaikutuksista, tiedot vaikutusten vähentämistoimista, tiedot tarkkailusta ja seurannasta sekä tiedot jätealueen käytöstä poistamisesta ja jälkihoidosta.

Kaivannaisjätteen jätealue on toteutettava siten, että jätealueesta ei aiheudu pitkään ajan kuluessa ympäristön pilaantumista tai sen vaaraa. Kaivannaisjätealueelta syntyvät suoto- ja valumavedet on kerättävä ja käsiteltävä. Jätealueesta ei saa myöskään aiheutua pohjaveden tai maaperän pilaantumista. Kaivannaisjätteen jätealueen osalta on asetettava helposti realisoitava ja määrältään riittävä vakuus, jolla voidaan kattaa jätealueen jälkihoitoa ja tarkkailua koskevat velvoitteet sekä tarvittaessa kunnostaa jätealueen vaikutuksesta pilaantuneet maa-alueet.

Kaivannaisjäteasetuksen liitteissä on annettu yksityiskohtaisemmat vaatimukset asetuksen soveltamiseen. Liite 1 koskee kaivannaisjätteen luokittelua pysyväksi jätteeksi, liite 2 koskee kaivannaisjätteen jätealueen luokittelua suuronnettomuuden vaaraa aiheuttavaksi, liite 3 kaivannaisjätteen ominaisuuksien määrittelyä, liite 4 suuronnettomuuksien torjuntaa koskevia toimintaperiaatteita, sisäistä pelastussuunnitelmaa ja siitä tiedottamista ja liite 5 kaivannaisjätteen jätealueen vakuuden määrän arviointia. Kaivannaisjätteiden ominaisuuksien määrittelyä on käsitelty tarkemmin luvussa 5.4.2 ja Liitteessä 6.

Ympäristölupahakemuksessa on esitettävä kaivannaisjäteasetuksen tarkoittamat tiedot. Ympäristöluvassa annetaan kaivannaisjäteasetuksen soveltamiseen liittyvät määräykset ja hyväksytään laadittu kaivannaisjätteen jätehuoltosuunnitelma.

3.2.5.2

Vesitalousasiat

Kaivostoimintaan voi liittyä esimerkiksi vesialueelle rakentamista, prosessiveden johtamista vesistöstä, vesialueiden kuivattamista, säännöstelyä prosessiveden saannin varmistamiseksi sekä louhosten kuivanapitamista ja siihen liittyvää pohjavedenpinnan alentamista. Näille toiminnoille on oltava vesilain mukainen lupa. Mikäli toiminta on kiinteässä yhteydessä kaivoksen toimintaan, vesilain mukainen lupa tulisi hakea yhdessä samalla hakemuksella ympäristöluvan kanssa. Lupa-asian käsittelyprosessi siinä käytettävine menettelyineen vastaa ympäristöluvan käsittelyä.

Vesilain mukainen lupaharkinta eroaa merkittävästi ympäristöluvasta. Suunnittelusta hankkeesta ei saa aiheutua vaaraa yleiselle terveystilanteelle, huomattavia vahingollisia muutoksia luonnonolosuhteissa tai merkittävää heikentymistä alueen asutus- ja elinkeino-oloissa. Tämän lisäksi luvan myöntämisen edellytyksenä on, että hankkeesta saatava hyöty on huomattava verrattuna hankkeesta aiheutuvaan vahinkoon, haittaan tai edunmenetykseen (intressivertailu). Kaivos Hankkeisiin liittyvissä vesitalouslupahakemuksissa on siten esitettävä kattava euromääräinen arvio hankkeen kannattavuudesta ja aiheutuvista haitoista.

Vesialueelle rakentamista tai vesistöjen muuttamista koskevan vesilain mukaisen luvan saaminen ja hankkeiden toteuttaminen edellyttää oikeutta tarvittaviin alueisiin. Lupapäätöksessä voidaan myöntää luvan saajalle oikeus käyttää toisen aluetta, mikäli hänellä on oikeus tarvittavaan alueeseen suurimmalta osalta. Kaivos Hankkeiden osalta vesilainmukaisten lupa-asoiden käsittelyssä on oleellista, että toiminnanharjoittaja olisi saanut kaivosoikeuden myötä käyttöoikeudet kaivospiiriin maa-alueisiin tai hankkinut tarvittavat maa-alueet vapaaehtoisin kaupun.

Vesilaissa on pienvesistöjä koskevat erityiset suojelusäännökset. Niiden piiriin kuuluvat enintään yhden hehtaarin suuruiset lammet ja luonnontilaiset uomat muualla kuin vanhan Lapin läänin alueella, enintään kymmenen hehtaarin suuruiset fladat tai kluuvijärvet ja luonnontilaiset lähteet. Lupa näistä suojelusäännöistä voidaan myöntää yksittäistapauksessa, edellyttäen että suojelutavoitteet eivät vaarannu. Lupaa poiketa näistä suojelusäännöksistä on mahdollista hakea ympäristöluvan ha-

kemisen yhteydessä. Hakemuksessa on tällöin tarkasteltava vastaavien pienvesistöjen määrää ja laatua hankkeen lähialueella ja tarvittaessa laajemminkin ja arvioitava, miten toiminta heikentää kyseisten pienvesien suojelutilannetta.

3.2.5.3

Patoturvallisuusasiat

Patoturvallisuuslain tavoitteena on varmistaa turvallisuus padon rakentamisessa, kunnossapidossa ja käytössä sekä vähentää padosta aiheutuvaa vahingonvaaraa. Padon rakentaminen vaatii vesilain, ympäristönsuojelulain tai maankäyttö- ja rakennuslain mukaisen lupamenettelyn. Kaivospatojen rakentamiseen tarvitaan yleensä vesilain tai ympäristönsuojelulain mukainen lupa riippuen onko kyseessä vesistöpato vai jätepato. Patoturvallisuuslain (494/2009) 9 §:n mukaan padon omistajan on vesitalousluvan tai ympäristöluvan lupahakemuksessa selostettava tarpeellisessa määrin padosta aiheutuvaa vahingonvaaraa ja sen vaikutusta padon mitoitusperusteisiin. Lupahakemuksessa padon suunnitelma esitetään yleissuunnitelmatasoisena. Siinä esitetään selostus vahingonvaarasta sisältäen esityksen padon luokaksi, padon ja padotusalueen päämitat sekä hydrologinen mitoitus. Lupaviranomaisen on patoturvallisuuslain mukaan pyydettävä lausunto patoturvallisuusviranomaiselta ja patoturvallisuusviranomaisen on lausunnossaan tarvittaessa esitettävä arvio padon mitoituksesta patoturvallisuuden kannalta. Patoturvallisuusasetuksessa on esitetty vaatimukset hydrologiselle mitoitukselle sekä padon yleisille teknisille turvavaatimuksille. Lisäksi asetuksessa on mm. vaatimukset vahingonvaaraselvityksen, turvallisuussuunnitelman ja tarkkailuohjelman sisällöille.

Patoturvallisuuslaissa on määrätty myös padon käyttöönotosta, käytöstä ja tarkkailusta. Pato on luokiteltava ennen käyttöönottoa. Kaikille luokitelluille (luokat 1–3) padoille on hyväksyttävä tarkkailuohjelma ennen padon käyttöönottoa. Lisäksi 1-luokan padoille on hyväksyttävä vahingonvaaraselvitys ja padon turvallisuussuunnitelma. Luokittelun ja patoturvallisuusasiakirjojen hyväksymisen tekee patoturvallisuusviranomainen. Patoturvallisuuslain mukainen tietojärjestelmä, johon padon asiakirjat (patoturvallisuuskansio) viedään, valmistunee vuoden 2011 loppuun mennessä. Padon omistaja tarkkailee padon kuntoa hyväksytyn ohjelman mukaisesti. Lisäksi 1- ja 2-luokan patojen kunto ja turvallisuus on padon omistajan tarkastettava vähintään kerran vuodessa (vuositarkastus). 1-luokan patojen vuositarkastuksesta on toimitettava kirjallinen raportti patoturvallisuusviranomaiselle. Määräaikaistarkastus tulee padon omistajan tehdä padoille vähintään 5 vuoden välein. Patoturvallisuusviranomaisella ja pelastusviranomaisella on oikeus osallistua määräaikaistarkastukseen.

Pato merkitään käytöstä poistetuksi patoturvallisuusviranomaisen tietojärjestelmään, kun tarkastuksessa on todettu patorakenne puretuksi tai padon käytön lakanneen siten, ettei padosta voi aiheutua patoturvallisuuslaissa tarkoitettua vaaraa. Tarkastus tehdään patoturvallisuusviranomaisen läsnäollessa sen jälkeen, kun muiden lakien mukaiset patorakenteen purkamiseen tai padon käytön lakkaamiseen liittyvät velvoitteet on täytetty. Patoturvallisuuslain mukaiset velvoitteet lakkaavat olemasta voimassa, kun pato on merkitty käytöstä poistetuksi.

3.2.6

Maankäyttö- ja rakennuslain mukaiset luvat ja menettelyt

Maankäyttö- ja rakennuslaki (132/1999) on alueiden suunnittelua, rakentamista ja käyttöä sääntelevä laki. Malminetsinnässä, kaivostoiminnassa ja kullanhuuhtonassa on sovellettava, mitä maankäyttö- ja rakennuslaissa (MRL) säädetään alueiden suunnittelusta ja käytöstä. Malminetsintäalueilla, kaivosalueilla ja kullanhuuhtontalueilla tapahtuvassa rakentamisessa on noudatettava, mitä MRL:ssä säädetään.

3.2.6.1

Maakuntakaava

MRL:n perusteella kaivostoiminnan alueet tulee ottaa huomioon kaavoja laadittaessa. Maakunnan suunnittelussa ja muussa alueiden käytön suunnittelussa on huolehdittava valtakunnallisten alueidenkäyttötavoitteiden (VAT) huomioon ottamisesta siten, että edistetään niiden toteuttamista. Valtakunnallista tai maakunnallista merkitystä omaavat kaivosalueet tulee osoittaa maakuntakaavassa. Käytännössä kaivokset ovat pääsääntöisesti kokoluokaltaan sellaisia, että maakunnallisen merkittävyyden raja ylittyy. Maakuntakaavoissa on voitu osoittaa toiminnassa olevia kaivosalueita ja alueita, joissa kaivostoiminnalle olisi edellytyksiä (ns. malmipotentialiset alueet). Kaavoissa voidaan ohjata kaivostoiminnan ohella myös kaivostoimintaan liittyvää muuta maankäyttöä, kuten liikenteen järjestelyjä, sekä sovittaa yhteen kaivostoimintaa ja muita maankäyttötarpeita, kuten esimerkiksi kaivostoimintaa ja poronhoitoa. Maakuntakaavan laatii maakunnan liitto ja sen vahvistaa ympäristöministeriö. Maakunnan liiton tulee huolehtia tarpeellisesta maakuntakaavan laatisemisesta ja kaavan pitämisestä ajan tasalla maakunnan kehittämisen edellyttämällä tavalla.

3.2.6.2

Yleiskaava ja asemakaava

Kaivoshankkeen toteuttaminen edellyttää yleensä yksityiskohtaisempaa kaavoitusta. Yleis- ja asemakaavatarpeeseen vaikuttaa erityisesti alueen maakuntakaavallinen tilanne, kaivoshankkeen sijainti ja sijaintipaikan olosuhteet sekä kaivoshankkeen koko ja vaikutukset.

Yleiskaavan tarkoituksena on maankäytön yleispiirteinen ohjaaminen ja toimintojen yhteensovittaminen. Yleiskaavassa osoitetaan tarpeelliset alueet eri toiminnoille sekä tarpeelliset alueet yksityiskohtaisemman kaavoituksen ja muun suunnittelun sekä rakentamisen ja muun maankäytön perustaksi. Kaivosalueella rakentamiseen ei voida myöntää rakennuslupaa suoraan yleiskaavan perusteella.

Asemakaava laaditaan alueiden käytön yksityiskohtaista järjestämistä, rakentamista ja kehittämistä varten. Asemakaava on kaivosalueella tarpeen, jos alueella tapahtuva rakentaminen johtaa vaikutuksiltaan merkittävään rakentamiseen tai aiheuttaa merkittäviä haitallisia ympäristövaikutuksia. Asemakaava voi olla tarpeen myös kaivosalueella olevien eri toimintojen yhteensovittamisen takia tai esimerkiksi alueella olevien kulttuurihistoriallisten arvojen vuoksi.

Jos kaivosalueella ei ole asemakaavaa, rakentamiseen tarvitaan useimmiten rakennuslupaa edeltävä suunnittelutarveratkaisu, eli laajennettu rakennuslupamenettely. Kaivoshankkeiden vaatima rakentaminen on usein niin suurimittakaavaista, että suunnittelutarveratkaisujen myöntämisedellytysten täyttymistä muutoksenhakua kestävästi on vaikea ennakoida. Oikeuskäytännössä merkittävää rakentamista koskevia tapauksia on ollut vähän eivätkä ne koske kaivostoiminnan rakentamista. Suunnittelutarveratkaisulla etenemisessä onkin muun muassa muutoksenhakuun liittyviä epävarmuustekijöitä, jotka olisivat asemakaavoitettaessa paremmin hallittavissa.

Yleis- ja asemakaavan laatii kunta. Kunnalla on velvollisuus huolehtia tarpeellisen yleis- ja asemakaavan laatisemisesta ja sen ajan tasalla pitämisestä sitä mukaan kuin kunnan kehitys tai maankäytön ohjaustarve sitä edellyttävät.

Jos kaivoshanke edellyttää kaavallista tarkastelua, tulevat kaavan vaikutukset selvitetäviksi MRL:ssä edellytetyllä tavalla. Kaivoshankkeen suunnittelun alkuvaiheessa on tärkeää tarkastella hankkeen suhde olemassa oleviin kaavoihin ja arvioida kaavoituksen tarve. Tarvittavat kaavamenettelyt tulee sovittaa yhteen muun muassa YVA- ja lupamenettelyjen kanssa. Suurimittaiset kaivoshankkeet edellyttävät YVA-menettelyä (ks. kpl 3.2.2). Yleis- ja asemakaavojen (ja myös MRL:n mukaisen lupaharkinnan) tarvitsemat selvitykset ja vaikutusten arvioinnit saadaan käytännössä suurelta osin kaivoshankkeita varten laadittavista YVA-lain mukaisista ympäristövaikutusten arvioinneista.

3.2.6.3

MRL:n mukaiset rakentamisen luvat

Kaivosalueella tapahtuvaan rakentamiseen sovelletaan MRL:n säännöksiä. Rakennuksen rakentamiseen on oltava rakennuslupa. Rakennuslupan sijasta rakentamiseen voidaan hakea toimenpidelupa sellaisten rakennelmien yms. pystyttämiseen, joiden osalta lupa-asian ratkaiseminen ei kaikilta osin edellytä rakentamisessa muutoin tarvittavaa ohjausta. Kyseisen lain säännöksiä sovelletaan myös rakennusten purkamiseen. Vanhojen kaivosrakennelmien osalta sovellettaviksi voivat tulla myös säännökset laista rakennetun ympäristön suojelemiseksi.

Jos rakennuslupamenettely vaatii laajennettua lupaharkintaa, kuten kaivosalueilla yleensä silloin, kun alueella ei ole voimassa asemakaavaa, lupaharkinnassa sovelletaan MRL:ssä tarkoitettua suunnittelutarveratkaisua. Kaivosalueella rakentamiseen saatetaan joissakin tapauksissa tarvita myös rakennuslupaa edeltävä poikkeamispäätös. Rakennuslupan, toimenpideluvan ja purkamisluvan ratkaisee kunnan rakennusvalvontaviranomainen. Suunnittelutarveratkaisun ja poikkeamispäätöksen ratkaisee kunnan määräämä viranomainen. Esimerkiksi vähäistä suuremmasta poikkeamisesta asemakaavassa osoitetusta rakennusoikeudesta poikkeamisen toimivalta on alueellisella ELY-keskukselta.

3.3

Ydinenergilaki

Ydinenergilaki (YEL 990/1987) sisältää uraanin ja toriumin tuottamiseen tähtäävää kaivos- ja rikastustoimintaa koskevat säännökset. Säännökset kattavat mm. kyseisenlaisen toiminnan luvanvaraisuuden sekä tarvittavat lupamenettelyt. YEL:n mukaiset lupamenettelyt eivät miltei osin sulje pois kaivoslain mukaisia menettelyjä, vaan ainoastaan täydentävät niitä. On katsottu, että uraanin ja toriumin tuottamiseen liittyvät ydinenergia- ja säteilykytkennästä johtuen sellaisia erityisnäkökohtia, että myös ydinenergilain mukaista valvontaa tarvitaan.

Kaivos- ja rikastustoimintaa koskeva lupamenettely eroaa merkittävässä määrin ydinvoimalaitosten lupaprosessista. Lupamenettely on yksivaiheinen, ja luvan myöntävä viranomainen on valtioneuvosto. Kyseessä on siis nimenomaan lupa, josta on säännönmukaista menettelyä noudattaen valitusoikeus korkeimpaan hallinto-oikeuteen. Lupa on kaivoslain mukaisesta luvasta erillinen.

Luvan myöntämisen edellytyksiä koskee nimenomainen säännös YEL 21 §:ssä. Lainkohdan otsikkona on ”muu ydinenergian käyttö”, jossa näkyvät laissa omaksutut lähestymistapa ja terminologia. Ydinlaitosten valvonta on niihin liittyvien mahdollisten riskien suuruuden vuoksi lain valvontajärjestelmän keskiössä. Ydinlaitoksella tarkoitetaan ydinenergian aikaansaamiseen käytettäviä laitoksia, tutkimusreaktorit mukaan luettuina, ydinjätteen laajamittaista loppusijoitusta toteuttavia laitoksia sekä ydinaineen ja ydinjätteen laajamittaiseen valmistamiseen, tuottamiseen, käyttämiseen, käsittelyyn tai varastointiin käytettäviä laitoksia; ei kuitenkaan mm. kaivos- ja rikastuslaitoksia (ks. YEL 3 §). Tämän kentän ulkopuolelle jäävä alue (”muu ydinenergian käyttö”) on siten lievemmän kontrollin piirissä. Termin ”ydinenergian käyttö” merkityssisältöä selventäne se, että sillä kuvataan YEL:n 2 §:ssä määriteltyä soveltamisalaa – mainitussa pykälässä mainitut toiminnot, mukaan lukien kaivos- ja rikastustoiminta, ovat siten ydinenergian käyttöä YEL:n tarkoittamassa mielessä, vaikka kyseessä ei olisikaan välittömästi energiantuotantoon liittyvä toiminta.

YEL 21 § listaa seitsemän edellytystä luvan myöntämiselle; jos ne ja YEL:n yleiset periaatteet (5–7 §) täyttyvät, eikä ristiriitaa Euratom-sopimuksen velvoitteiden kanssa ole, voidaan lupa myöntää. Lupaan liittyy siis muun ohella valtioneuvoston tarkoituksenmukaisuusharkintaa, eikä luvan myöntämisedellytysten täyttymisestä

automaattisesti seuraa, että lupa pitäisi myöntää. Näitä edellytyksiä ovat turvallisuus ja ympäristönsuojelun huomioon ottaminen, tarvittavan alueen hallinta, ydinjätehuollon järjestäminen ja sen kustannuksiin varautuminen, Säteilyturvakeskuksen valvontaa koskevien järjestelyjen riittävä hoitaminen, tarpeellinen asiantuntemus ja organisaatio, taloudelliset ja muut tarpeelliset edellytykset, sekä se, että radioaktiivisen jätteen ja käytetyn ydinpolttoaineen siirtojen valvonnasta ja tarkkailusta annetun direktiivin edellyttämät vieraiden valtioiden suostumukset on saatu.

Varsinaisia aineellisoikeudellisia säännöksiä liittyen erityisesti kaivos- ja rikastustoiminnan lupiin ei YEL:ssä ole tämän enempää. Varsin muodollisia ovat myös ydinenenergia-asetuksen (161/1988) kaivos- ja rikastustoiminnan lupia koskevat säännökset: ne koskevat hakemuksessa ilmoitettavia asioita (61 §) ja siihen liitteeksi otettavaa aineistoa (62 §).

YEL:n luonteeltaan aineellisoikeudellisimmat säännökset ovat lain 2 ja 2A luvuissa, joskin jälkimmäisen säännöksistä merkittävä osa on edelleen menettelyllisiä. Näissä luvuissa olevat säännökset koskevat siis lähtökohtaisesti kaikkea ydinenenergian käyttöä, eivät vain joko kaivos- ja rikastustoimintaa tai ydinlaitoksia. 2 luku koskee ydinenenergian käytön yleisiä periaatteita, 2A luku taas turvallisuutta koskevia vaatimuksia. Ensin mainittuihin lukeutuvat mm. yhteiskunnan kokonaisuus ja turvallisuus sekä turva- ja valmiusjärjestelyt ja muut niihin verrattavat järjestelyt, jälkimmäisiin taas mm. säteilyaltistuksen enimmäisarvot, luvanhaltijan henkilöstöä koskevat yleiset vaatimukset sekä vastuullista johtajaa koskevat vaatimukset. On kuitenkin huomattava, että myös 2A luvun säännöksistä useat rajaavat soveltamisalaksi ydinlaitokset – eivät kuitenkaan kaikki.

Ydinenenergialain lisäksi kaivos- ja rikastustoimintaan soveltuvia säännöksiä on ydinenenergia-asetuksessa, valtioneuvoston asetuksessa ydinenenergian käytön turvajärjestelyistä sekä valtioneuvoston asetuksessa ydinjätteiden loppusijoituksen turvallisuudesta.

Uuden kaivoslakiin hyväksymisen yhteydessä tehtiin muutoksia myös ydinenenergialakiin. Niiden perusteella Säteilyturvakeskus voi antaa yleisiä turvallisuusmääräyksiä uraanin tai toriumin tuottamiseksi harjoitettavan kaivos- tai malminrikastustoiminnan turvallisuudesta. Lisäksi luvan myöntäminen edellyttää suunnitellun kaivoshankkeen tai malminrikastuslaitoksen sijaintikunnan puolta. Tätä ei aiemmin edellytetty kaivos- ja rikastustoiminnalle, toisin kuin ydinvoimalaitoshankkeita koskevassa periaatepäätösmenettelyssä. Nykyiset säädökset edellyttävät edelleenkin uraanin ja toriumin tuotannolta sekä kaivos- että ydinenenergialain mukaista lupaa, mutta valtioneuvosto käsittelee ydinenenergialain mukaisen lupahakemuksen yhdessä samaa toimintaa tarkoittavan kaivoslupahakemuksen kanssa ja ratkaisee ne samalla päätöksellä. Ydinenenergialaissa (23 §) on määritelty myös menettely, jos kaivoslupa on jo olemassa tai sitä ei tarvita.

Jos kaivostoiminnassa laajamittaisesti hyödynnettävien luonnonvarojen uraani- tai toriumpitoisuus on suurempi kuin 0,1 kilogrammaa tonnissa, on siitä ilmoitettava Säteilyturvakeskukseen (ST 12.1. 2011). Ilmoitus on tehtävä kirjallisesti hyvissä ajoin ennen toiminnan aloittamista, ja siinä on esitettävä seuraavat tiedot:

- toiminnan laatu,
- käsiteltäväksi suunniteltu ainesmäärä,
- aineiden radioaktiivisuutta koskevat tiedot,
- arvio työntekijöiden lukumäärästä ja työskentelyajoista,
- selvitys toiminnasta syntyvien jätteiden ja päästöjen määrästä ja laadusta.

Ilmoituksen perusteella Säteilyturvakeskus asettaa toiminnan säteilyturvallisuutta koskevat vaatimukset ja määrää tarpeellisista selvityksistä ja toimenpiteistä. Toiminnanharjoittajan velvollisuudesta huolehtia siitä, että radioaktiivisista jätteistä ei

aiheudu terveydellistä eikä ympäristöllistä haittaa, säädetään säteilylain 50 §:ssä. Erityisestä ilmoitusvelvollisuudesta säädetään säteilyasetuksen 29 §:ssä.

Parhaiden ympäristökäytäntöjen kannalta olennainen myös ydinenergiainsäädännön viitekehyksessä on ympäristövaikutusten arviointimenettely (YVA). Ydinenergiain mukaisilta kaivos- ja rikastustoimintahankkeilta edellytetään YVA-menettelyn läpikäymistä. Tästä ei YEL:ssä ole nimenomaista säännöstä, mutta velvollisuus perustuu YVA-lainsäädäntöön. YVA-asetuksen (VNA 713/2006) 6 §:n hankeluettelossa mainitaan uraanin louhinta, rikastaminen ja käsittely lukuun ottamatta koelouhintaa, koerikastamista ja muuta vastaavaa käsittelyä (kohta 2d). Uraanin tuotanto on siten säännönmukaisen YVA-menettelyn piirissä, eikä YVA-velvollisuuden suhteen näin ollen ole yksittäistapauksellista harkinnanvaraa.

3.4

REACH

REACH on asetus kemikaalien rekisteröinnistä, arvioinnista, lupamenettelyistä ja rajoituksista (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals). Se tuli voimaan 1. kesäkuuta 2007, ja sen tavoitteena on parantaa kemikaaleja koskevaa Euroopan unionin aiempaa sääntelyjärjestelmää. REACH asettaa entistä enemmän vastuuta teollisuudelle, kun on kyse riskeistä, joita kemikaalit saattavat aiheuttaa terveydelle ja ympäristölle. Reach-menettelyä on kuvattu tarkemmin liitteessä 2.

Periaatteessa REACH-asetusta sovelletaan kaikkiin kemikaaleihin. REACH-asetuksen mukaisesti teollisuus on päävastuussa kemikaalien aiheuttamista riskeistä ja sen on annettava niiden käyttäjille asianmukaiset turvallisuustiedot. Samanaikaisesti asetuksessa säädetään, että Euroopan unioni voi toteuttaa erittäin vaarallisia aineita koskevia lisätoimenpiteitä, jos EU:n tasolla tarvitaan täydentäviä toimia.

Teollisuudelle ja viranomaisille on viime vuosina kehitetty neuvontaa, jotta REACH voidaan panna täytäntöön ongelmitta. Ohjeasiakirjat on laadittu ja niistä on keskusteltu Euroopan komission yksiköiden johtamissa hankkeissa, joihin osallistuivat kaikki sidosryhmät: teollisuus, jäsenvaltiot, kansalaisjärjestöt ja Euroopan komissio. Lopulliset ohjeasiakirjat ovat verkkosivustossa http://guidance.echa.europa.eu/about_reach_fi.htm sitä mukaa kun ne valmistuvat tai niitä ajantasaistetaan.

3.4.1

REACH kaivosteollisuuden näkökulmasta

Uudet REACH- ja CLP-asetukset koskevat kaivosteollisuutta sekä kemikaalien jatkokäyttäjän ominaisuudessa että malmien/rikasteiden tuottajana. Jatkokäyttäjänä kaivosten kannattaa ilmoittaa käyttämiensä kemikaalien käyttötarkoitus kemikaalin toimittajalle, jotta se voidaan sisällyttää kemikaaliturvallisuusarviointiin tunnistettuna käyttönä ja toimittaja saa tietoa altistumisskenaarion laatimiseen. Jos jatkokäyttäjä ei toimita tietoja omasta käytöstään aineen toimittajalle, tulee jatkokäyttäjän itse laatia kemikaaliturvallisuusraportti kyseistä käyttöä koskien.

REACH vaikuttaa myös kaivosteollisuuden tuotteisiin, malmeihin ja rikasteisiin. Luonnossa esiintyvät mineraalit, malmit ja malmirikasteet on vapautettu REACH:n rekisteröintivelvollisuudesta, jos niitä ei ole muunnettu kemiallisesti (REACH-asetus Liite V kohta 7). Ei-kemiallisesti muunnetun aineen kemiallinen rakenne pysyy muuttumattomana vaikka se olisi käynyt läpi kemiallisia tai fysikaalisia prosesseja. Tähän kategoriaan menevät esimerkiksi painovoima-, vaahdotus- ja magneettierotusrikasteet. Toisaalta mm. liuotus, saostus ja sintraus ovat kemiallista muuntelua, joten esimerkiksi Talvivaaran bioliuotus lasketaan malmin kemialliseksi käsittelyksi. Yleensä

rikasteet voidaan rekisteröidä ns. välituotteina, jolloin voidaan soveltaa ”kevyempää” rekisteröintiä. REACH-asetuksen mukaan malmit ja rikasteet tunnistetaan yleensä ns. UVCB:n alatyypin 4-aineiksi (Substance of Unknown or Variable composition, Complex reaction products or Biological materials).

Rekisteröintivelvoitteesta vapauttaminen ei vapauta kuitenkaan REACH:n myötä tulleen CLP-asetuksen luokittelovelvoitteesta. Vaarallisten aineiden, jotka asetetaan markkinoille, ominaisuudet tulee olla asianmukaisesti arvioitu ja luokiteltu. Malmien ja rikasteiden tarkka määrittely on monimutkaista ja usein jopa mahdotonta. Perinteisen kemiallisen koostumuksen lisäksi mineraalien ominaisuuksia määrittää niiden kiderakenne. Nämä tekevät malmien ja rikasteiden vaarallisuuden arvioimisesta ja luokittelusta hankalaa. CLP-asetuksen mukainen luokitusilmoitus malmista/rikasteesta tulee tehdä, jos se on esim. haitallista terveydelle tai ympäristölle, karsinogeenistä, happoa tuottavaa, palavaa tai itsestään lämpiävää. Karkeasti ottaen luokittelun vaativat yleensä sulfidiset malmit/rikasteet sekä vaarallisiksi luokiteltuja metalleja sisältävät rikasteet (mm. As, Cd, Pb).

4 Toiminnan päästöt ja ympäristövaikutukset

Metallimalmikaivostoiminnan päästöjen ja ympäristövaikutusten laatu ja laajuus riippuvat malmiesiintymän geologiasta, arvoainepitoisuudesta sekä koosta ja muodosta, käytettävistä louhinta- ja rikastusmenetelmistä, valituista puhdistinlaitetekniikoista ja -menetelmistä sekä toiminnanharjoittajan sitoutumisesta ylläpitämään ja kehittämään toimintaa siten, että päästöt ympäristöön jäävät mahdollisimman vähäisiksi.

Malmiesiintymän sijainti on ratkaiseva sekä luonnonympäristöön että ihmisiin kohdistuvien vaikutusten kannalta, sillä esimerkiksi maankäyttömuodot, ilmastolliset ja hydrologiset tekijät ja topografia, jotka mm. vaikuttavat mahdollisten haitta-aineiden liikkuvuuteen, ovat sijaintiin sidottuja. Alla olevissa kappaleissa on kuvattu metallimalmikaivostoimintaan liittyviä tyypillisiä päästöjä ja ympäristövaikutuksia.

4.1

Metallimalmikaivosten ympäristögeologia

Metallimalmikaivostoiminnassa yksi keskeisimpiä ympäristöhuolia on ympäristölle ja/tai ihmisten terveydelle haitallisten alkuaineiden tai yhdisteiden vapautuminen vesipäästöjen myötä pinta- tai pohjavesiin tai pölyämisen kautta maaperään. Toimintaan liittyvät haitalliset alkuaineet ja yhdisteet voivat olla joko metalleja (esim. Al, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Pb, Ni, Zn, V), puolimetalleja (As, Sb), suoloja (esim. sulfaattit), ravinteita (typpiyhdisteet) tai orgaanisia yhdisteitä. Ne ovat peräisin malmiesiintymästä itsestään tai louhinnassa käytettävistä räjähdysaineista (typpiyhdisteet), rikastusmikaaleista (esim. ksantaatit, syanidi, rikkiyhdisteet, suolat) tai koneiden ja laitteiden polttoaineista (mineraaliöljyt). Haitallisten metallien, puolimetallien, sulfaatin ja ravinteiden esiintyminen ja pitoisuustasot riippuvat yleensä ensisijaisesti malmiesiintymän geologiasta ja mineralogiasta sekä rikastusprosessin tehokkuudesta (Taulukot 15 ja 16). Niiden haitallisuus ympäristölle riippuu puolestaan pitoisuustason ohella erityisesti niiden toksikologisista ominaisuuksista sekä esiintymismuodosta, jota säätelevät mm. esiintymisympäristön happamuus ja hapetus-pelkistystila (pH, Eh/redox) ja koostumus (mm. kiintoaineksen laatu, muut läsnä olevat alkuaineet ja yhdisteet). Mainitut ympäristötekijät säätelevät keskeisesti haitta-aineiden liukoisuutta ja biosaatavuutta (vrt. esim. Heikkinen 2000, Reinikainen 2007). Useimpien metallien haitallisuus esimerkiksi kasvaa happamuuden myötä, kun metallit esiintyvät liukoisessa kationisessa muodossa. Alla olevissa kappaleissa on keskitytty metallimalmien geologiaan liittyvien erityispiirteiden kuvaamiseen.

Metallimalmiesiintymissä arvometallit esiintyvät tavallisesti sulfidimineraaleina (metallin ja rikin yhdisteenä), oksidimineraaleina (metallin ja hapen yhdisteenä) tai alkuaineina. Suomesta louhittavat metallimalmit kuuluvat pääosin kahteen ensimmäiseen ryhmään, vaikkakin joissakin kultaesiintymissä kulta voi esiintyä myös alkuainekultana. Merkittävimmät ympäristöriskit liittyvät yleisesti sulfidimalmiesiin-

tymiin, jotka sisältävät rautasulfidimineraaleja, kuten magneetti- tai rikkikiisua, tai muita metallisulfideja (esim. kuparikiisu, arseenikiisu, pentlandiitti, sinkkivälke). Tällaisia ovat tyypillisesti kupari-, lyijy-, sinkki-, kulta- ja nikkelimalmit. Kromi-, rauta-, vanadiini-, titaani- ja uraanimalmmit ovat yleensä oksidimetallimalmeja (esim. Siivola 1986).

Sulfidimalmien ympäristöriskit liittyvät sulfidimineraalien rapautumisherkkyyteen maan pinnan oloissa. Sulfidimineraalit ovat muodostuneet maankuoren pelkistävässä oloissa. Niiden altistuminen ilmakehän hapelle ja vedelle johtaa niiden hapettumiseen ja happamien, metalleja (mm. raskasmetallit, Al, Fe), puolimetalleja (As, Sb) ja sulfaattia sisältävien vesien muodostumiseen (esim. Nordstrom & Alpers 1999). Sulfidimineraalien rapautumisessa muodostuva happamuus liuottaa edelleen metalleja muista kiviaineksen sisältämistä mineraaleista. Rautasulfidimineraalit ovat sulfidimineraaleista ongelmallisimpia, sillä ne rapautuvat kaikista nopeimmin ilmakehän hapelle ja vedelle altistuessaan. Sulfidimineraalien altistumista ilmakehälle voi tapahtua louhosten seinämissä, rikastusprosessissa, rikasteen varastokasoissa, sivukivikasoissa, rikastushiekka-alueilla sekä alueilla, joihin on levinnyt sulfidimineraalipitoista pölyä. Sulfidimineraalien hapettumisen hallinta kaivostoiminnan aikana ja sen päätyttyä on yksi keskeisimmistä haasteista metallikaivosten ympäristökuorituksen vähentämisessä (vrt. kappale 6.2.3).

Sulfidimineraalien hapettumisessa muodostuvien vesien happamuus riippuu kivi- tai mineraaliaineksen sisältämien happoa tuottavien ja neutraloivien mineraalien määräsuhteista. Vapautuvien metallien ja puolimetallien jakauma ja pitoisuustasot riippuvat puolestaan mineraalien koostumuksesta sekä liukoisuudesta, johon vaikuttavat mm. mineraalirakeiden muoto ja esiintymistapa, raekoko sekä ympäröivät pH-Eh olot (esim. Blowes & Ptacek 1994, Cravotta *et al.* 1999). pH-Eh olot säätelevät edelleen myös vapautuneiden metallien, puolimetallien ja yhdisteiden käyttäytymistä ja vaikuttavat niiden kulkeutumiseen. Useimpien metallien liukoisuus kasvaa happamuuden kasvun myötä.

Metallimalmiesiintymissä merkittävimpiä happoa tuottavia mineraaleja ovat rautasulfidimineraalit (magneettikiisu $[\text{Fe}_{1-x}\text{S}]$ ja rikkikiisu $[\text{FeS}_2]$), ja neutraloivia mineraaleja ovat erityisesti karbonaatit (kalsiitti $[\text{CaCO}_3]$, dolomiitti $[\text{CaMgCO}_3]$). Jos happoa tuottavien mineraalien määrä on kiviaineksessa suurempi kuin neutraloivien mineraalien määrä, kiviaines luokitellaan happoa tuottavaksi, ja on todennäköisesti happamia valumavesiä tuottavaa. Jos neutraloivien mineraalien määrä on kiviaineksessa puolestaan suurempi kuin happoa tuottavien mineraalien määrä, materiaali luokitellaan happoa tuottamattomaksi, ja muodostuvat valuma- tai suotovedet ovat yleensä neutraaleja tai jopa alkalisia (Price *et al.* 1997). Valumavedet voivat siitä huolimatta kuitenkin sisältää merkittäviä määriä ympäristölle haitallisia metalleja (esim. Heikkinen *et al.* 2009).

Raskasmetallien ja puolimetallien (As) esiintyminen vaihtelee malmityypeittäin ja -esiintymittäin. Niiden ensisijaisia lähteitä metallimalmiesiintymissä ovat sulfidimineraalit ja arsenidit, joista metalleja voi vapautua mineraalien rapautumisen myötä. Usein sulfidimineraalit sisältävät arvometallin ohella epäpuhtautena pieniä määriä muita raskasmetalleja. Esimerkiksi pentlandiitti $([\text{Fe,Ni}]_9\text{S}_8)$ voi sisältää nikkelin lisäksi mm. kobolttia. Kulta puolestaan esiintyy usein arseenikiisun yhteydessä. Toissijaisia raskasmetallien ja puolimetallien lähteitä metallimalmiesiintymissä ovat herkästi liukenevat silikaattimineraalit, kuten kiillemineraalit tai tummat silikaattimineraalit (esim. pyrokseenit, amfibolit), joiden mineraalihilat voivat sisältää epäpuhtautena raskasmetalleja (esim. Cu, Cr, Ni, Zn, V), ja joiden liukenevuus kasvaa happamuuden lisääntyessä sulfidihapettumisen myötä. Esimerkiksi kloriitti $([\text{Mg,Fe,Al,Cr}]_{12}[(\text{Si,Al})_8\text{O}_{20}][\text{OH}]_4)$ voi olla merkittävä kromin lähde. Osa kiviaineksen raskasmetalleista esiintyy myös niukkaliukoisten silikaattien mineraalihilloissa, jolloin

niiden vapautuminen ympäristöön on epätodennäköistä. Metallien esiintymistä ja esiintymismuotoja tutkitaan kemiallisilla ja mineralogisilla menetelmillä. Esiintymän mineralogisesta koostumuksesta voidaan jo päätellä mahdollisten ympäristölle haitallisten metallien esiintymistä ja liukenevuutta (ks. luku 5.4.2).

Sulfidimineraalien hapettua vapautuu kaivosalueen vesiin myös rautaa ja rikkiä, joka hapettuu sulfaatiksi. Liunneen raudan hapettuminen ja saostuminen kaivosvesissä raudan hydroksideina, oksideina tai hydroksysulfaatteina lisää edelleen vesien happamuutta. Silikaattien ja neutraaloivien mineraalien liukeneminen puolestaan lisää alumiinin, mangaanin, piin, titaanin sekä alkali- ja maa-alkalimetallien (Ca, Na, Mg, K) määriä kaivosvesissä. Vapautuvien alkuaineiden jakaumat riippuvat täysin rapautuvien materiaalien mineralogisesta koostumuksesta, ja niiden kulkeutumista säätelevät pH-Eh olot, jotka vaikuttavat mm. uusien mineraalisaostumien muodostumiseen ja alkuaineiden pidättymiseen maaperään. Esimerkiksi raudan saostumat pidättävät metalleja kaivosalueen vesissä ja rikastushiekka-alueilla pienentäen alueen vesistöön kohdistuvaa kokonaiskuormitusta.

Rikastushiekoissa sulfidimineraalien määrä riippuu rikastusprosessista ja sen tehokkuudesta. Rikastuksessa ei yleensä saada talteen kaikkia arvomineraaleja, vaan osa sulfidimineraaleista jää rikastuksen jäännösmateriaaliin eli rikastushiekkaan. Rikastushiekka koostuu suurelta osin malmin sisältämistä ns. harmemineraaleista eli arvoaineita sisältämättömistä mineraalirakeista, ja se varastoidaan kaivosalueelle omiin varastoaltaisiinsa. Rautasulfidimineraalit (magneettikiisu, rikkikiisu) sisältävät yleensä hyvin vähän arvometalleja, joten ne pyritään erottamaan rikastuksessa pois rikasteesta, jolloin niistä suurin osa päätyy rikastushiekkakasaan. Jos rikkikiisua esiintyy malmissa suuria määriä, se voidaan erottaa rikastusprosessissa kannattavasti omaksi rikasteekseen ja myydä esimerkiksi rikkihapon valmistukseen, ja alentaa näin rikastushiekan hapontuottokykyä. Rikastushiekassa sulfidimineraalien rapautuminen ja metallien vapautuminen on nopeampaa kuin esimerkiksi sivukivissä rikastushiekan pienemmän raekoon vuoksi, etenkin, jos rikastushiekka läjitetään vedellä kyllästymättömänä. Lisäksi rikastushiekassa mineraalien raepinnat ovat rikkoutuneet jauhatuksen ja rikastusprosessin seurauksena, jolloin mineraalit ovat herkempiä rapautumaan kuin neitseellisessä materiaalissa.

Rikastushiekan ohella myös sivukivet voivat sisältää sulfidimineraaleja. Sivukivillä tarkoitetaan malmiesiintymän niitä kiviä, joiden arvomineraalipitoisuudet ovat niin alhaisia, ettei niitä voida hyödyntää taloudellisesti, mutta jotka täytyy louhia pois varsinaisen malmin saavuttamiseksi ja hyödyntämiseksi. Metallimalmiesiintymien muoto vaihtelee yksittäisistä yhtenäisistä esiintymistä pienempiin, esimerkiksi piipun mallisiin, erillisiin malmioihin, joissa arvomineraalit voivat esiintyä massiivisena tai puolimassiivisena ja/tai pirotetyyppisenä malmina. Metallien ja sulfidimineraalien pitoisuudet ovat sivukivissä yleensä sitä korkeampia, mitä lähempänä malmia sivukivet sijaitsevat. Kauempana malmiesiintymästä sivukivet ovat usein metalli- tai sulfidimineraalisältönsä puolesta ympäristökelpoisia, ja niitä voidaan hyödyntää esimerkiksi kaivosalueen maarakentamisessa. Sivukivissä mineraalien rapautumista hidastaa ja vähentää niiden suuri lohkokoko verrattuna rikastushiekkoihin.

Oksidimineraalit ovat tavallisesti maan pinnan oloissa kiderakenteeltaan pysyvämpiä ja heikommin rapautuvia kuin sulfidimineraalit, joten niiden kemialliset ympäristövaikutukset ovat yleensä selvästi vähäisempiä kuin sulfidimalmeilla (Taulukot 15–16). Oksidimalmien hyödyntämisessä metalleja voi kuitenkin levitä kiviaineksesta mm. louhinnasta ja rikastushiekan varastoinnista aiheutuvan pölyämisen seurauksena ympäristöön. Oksidimalmiesiintymät voivat sisältää myös sulfidimineraaleja, jolloin niillä on vastaavia ympäristövaikutuksia kuin sulfidimetallimalmeilla (ks. luku 4.3). Suomesta louhitaan oksidimalmeja tällä hetkellä vain Kemistä (kromimalmi).

Uraanioksidimalmit ovat radioaktiivisia ja sisältävät uraanin hajoamissarjan tytärnuklidi radium-226:ta, joten niiden louhintaan liittyy erityispiirteenä säteily- ja radonriski. Uraanin malmimineraalit ovat lisäksi hapettavassa ympäristössä herkästi rapautuvia, jolloin niistä voi vapautua ympäristöön uraania, joka on terveydelle haitallinen raskasmetalli (esim. Lottermoser 2007). Uraanimalmien avo- tai maanalaisessa louhinnassa ja prosessoinnissa merkittävimmät ympäristöriskit liittyvät kaivosvesiin, rikastushiekan ja sivukivien varastointiin sekä pölyämiseen. Ne kaikki voivat sisältää kohonneita pitoisuuksia uraania ja toriumia sekä niiden hajoamistuotteita (Ra-226, Rn-222, Pb-210 jne.), joiden puoliintuessa vapautuu radioaktiivista säteilyä (alfa- tai beetahiukkasia tai gammasäteilyä). Radiumin puoliintuminen johtaa myös terveydelle haitallisen radonin muodostumiseen ja vapautumiseen (esim. OECD 1999, Lottermoser 2007). Radon- ja säteilyriski liittyvät erityisesti rikastushiekkojen varastointiin, sillä suurin osa uraanin radioaktiivisista hajoamistuotteista (mm. Ra-226 ja Th-230) jää rikastushiekkaan, kun uraani otetaan talteen malmin prosessoinnissa (esim. Lottermoser 2007). Paikallaan liuotettavissa uraanimalmeissa (ns. *in-situ* leach -tekniikka) ympäristöriskit kohdistuvat lähinnä pohjavesiin, sillä malmi louhitaan liuottamalla suoraan malmiesiintymästä, eikä maanpälle varastoitavia rikastushiekkokojia tai sivukiviä tavallisesti muodostu. Uraanimalmiesiintymät voivat myös sisältää sulfidimineraaleja, jolloin ympäristöön voi kulkeutua mm. kaivosalueen vesien mukana raskasmetalleja ja metalleja sulfidimineraalien hapettumisessa muodostuvan happamoitumisen myötä. Happamuus lisää myös radionuklidien kulkeutumista ympäristöön sivukivi- tai rikastushiekkakasoista (esim. Lottermoser 2007). Suomessa uraanin luontaiset keskipitoisuudet ovat moreenissa noin 3,3 mg/kg ja kallioperässä noin 2 mg/kg (Koljonen *et al.* 1992, Rasilainen 2008).

Varsinaisten uraanimalmien ohella myös muut malmiesiintymät voivat sisältää vaihtelevia määriä uraania, joka voidaan ottaa talteen muun malmin prosessoinnin yhteydessä. Suomessa uraania esiintyy esimerkiksi karbonaattisissa lyijy- ja fosforimalmeissa (Korsnäs, Sokli), metasedimenttisissä ja karsikivien yhteydessä olevissa kulta-kuparimalmeissa (Juomasuo, Laurinoja), mustaliuskeisiin liittyvissä monimetallimalmeissa (Talvivaara) sekä sinkki-kuparimalmien yhteydessä (Pahtavuoma, Vihanti; esim. Papunen 1986). Esiintymän uraanipitoisuudesta ja mahdollisesta talteenotosta riippuen myös tällaisten esiintymien louhintaan voi sisältyä vastaavia riskejä kuin varsinaisten uraanimalmien louhintaan, mutta yleensä pienemmässä mittakaavassa.

Koska kaivosten keskeiset ympäristöriskit liittyvät niiden geologisiin ominaisuuksiin, on kiviaineksen mineralogisen ja kemiallisen koostumuksen tuntemus ensiarvoisen tärkeää.

Taulukko 15. Esimerkkejä kotimaisten malmiesiintymien rikastushiekka-alueiden suoto- ja valumavesien laadusta (alkuaineiden liukoiset pitoisuudet) kaivosten eri toimintavaiheissa. Malmiesiintymän (*) tai rikastushiekan (**) mineraloginen koostumus on esitetty vertailuksi. Mineralien kaavat on esitetty liitteessä 3.

Malmiesiintymä	Cu-Zn-Au-sulfidimalmi	Au-Cu-sulfidimalmi	Cu-Zn-Co-Ni-S-sulfidimalmi	Ni-Cu-sulfidimalmi	Cu-W-As-sulfidimalmi	Fe-oksididi-Cu-Au-malmi
Malmi-mineraalit	Magneetikiisu, kupari-kiisu, rikkikiisu, sinkki-välke*	Magneetikiisu, rikkikiisu, kupari-kiisu, magnetiitti, ilmeniitti**	Kupari-kiisu, sinkki-välke, Co-pentlandiitti, magneetikiisu, Co-rikkikiisu*	Pentlandiitti, magneetikiisu, mackinawiitti, kupari-kiisu, sinkkivälke**	Magneetikiisu, kupari-kiisu, arseeni-kiisu, rikkikiisu*	Magneiitti, magneetikiisu, kupari-kiisu, rikkikiisu*
Harmeminaeraalit	Kvartsi, kloriitti, serisiitti, kalsiitti, sideriitti*	Sarvivälke, plagio-klaasi, kvartsi, kalimaasalpä, kloriitti**	Kvartsi, talkki, kloriitti, grafiitti, kalsiitti*	Serpentiini, kloriitti, talkki, karbonaatt**	Kvartsi, plagioklaasi, kalimaasalpä, turmaaliini, biotiitti, kloriitti*	Diopsidi, kvartsi, sarvivälke, kalsiitti, plagioklaasi, kalimaasalpä, skapoliitti, biotiitti, amfibolit
Kaivoksen toimintavaihe	Suljettu	Suljettu	Suljettu / talkin prosessointi käynnissä	Toiminnassa	Suljettu	Suljettu
Vesityyppi	Valumavesi	Valumavesi	Suotovesi	Suotovesi	Suotovesi	Suotovesi
Veden laatu						
pH	2,7–6,9	3,4–6,5	2,7–5,3	5,7–6,8	3,4–6,4	2,8–6,7
SO ₄ (mg/l)	25,2–3570	191–1170	760–5690	2800–6900	271–1180	196–4910
Fe (mg/l)	<0,03–978	0,7–8,2	4,7–1730	2,3–163	0,4–58,2	33,4–1260
Al (mg/l)	<1–67,4	0,3–24,3	<0,2–2,7	<0,2–2,7	0,23–25,7	0,004–104
As (mg/l)	–	0,0003–0,0009	<0,0002	–	0,004–3,4	<0,0001–0,03
Co (mg/l)	<0,001–0,9	0,004–0,7	0,06–1,8	0,007–0,07	0,1–1,5	0,0003–23,1
Cr (mg/l)	–	0,0005–0,003	0,0004–0,4 ¹⁾	–	<0,0002–0,002	<0,0002–0,02 ¹⁾
Cu (mg/l)	<0,001–0,8	0,02–1,6	0,006–3,7	<0,001–0,05	0,2–5,5	0,005–3,8
Ni (mg/l)	0,003–0,5	0,01–0,7	0,3–1,9	0,01–2,1	0,004–0,3	0,03–9,9
Zn (mg/l)	0,01–45,1	0,01–0,7	0,1–21,2	0,01–0,3	0,004–1,3	0,01–6,1
Viite	Räisänen et al. 2003	Parviainen 2009	Räisänen & Juntunen 2004	Heikkinen et al. 2009	Carlson et al. 2002	GTK:n julkaisematon aineisto

Taulukko 16. Esimerkkejä kotimaisten metallimalmikaivosten sivukivialueiden suoto- ja valumavesien laadusta (alkuaineiden luokaiset pitoisuudet) kaivosten eri toimintavaiheissa. Sivukivien mineraloginen koostumus on esitetty vertailuksi. Mineraalien kaavat on esitetty liitteessä 3.

Kaivos	Talkki-Ni kaivokset	Cu-Zn-Ni-Co kaivokset	Zn-Cu-Au kaivos	Pyriittikaivos	Cr-oksidimalmi
Sivukivet	Serpentiini, mustaliuske, epäpuhtas vuolukivi, kloriittiliuske, kiilleliuske	Kvartsi- ja karsikivet, karbonaattikivi, talkkiliuske, serpentiini, mustaliuske, kloriittiliuske, kiilleliuske, graniitti	Grauvakka, fylliitti, mustaliuske, metavulkaniitti, karsikivi	Kvartsi- ja karsikivi, mustaliuske, sulfidiliuske, metavulkaniitti	Talkki-karbonaattikivi, pyrokseeni, peridotiitti- ja talkkiserpentiini, graniitti-gneissi, albiitti- ja doleriitti-juonikivet
Mineralogia	Kvartsi, plagioklaasi, biotiitti, serpentiini, talkki, kloriitti, magnesii, dolomiitti, kromiitti, apatiitti, grafiitti	Kvartsi, tremoliitti, diopsidi, plagioklaasi, kalimaasälpä, biotiitti, muskoviitti, dolomiitti, kalsiitti, serpentiini, talkki	Kvartsi, maasälvät (plagioklaasi ja kalimaasälpä), kloriitti, biotiitti, grafiitti, tremoliitti, sarvivälke	Plagioklaasi, kvartsi, flogopiitti, serisiitti, grafiitti, kalsiitti, kloriitti, tremoliitti, götiitti, limoniitti	Talkki, serpentiini, magnesii, dolomiitti, kloriitti, pyrokseeni, tremoliitti, flogopiitti, kvartsi, plagioklaasi, kromiitti, (magnetiiitti)
Sulfidi-mineraalit	Magneetikiisu, gersdorfiitti, nikkoliitti, rikkikiisu, alabandiitti	Magneetikiisu, rikkikiisu, kuparikiisu, sinkkivälke, pentlandiitti	Magneetikiisu, rikkikiisu, kuparikiisu, sinkkivälke, lyijyhohde, pentlandiitti	Rikkikiisu, magneetikiisu, kuparikiisu, sinkkivälke, pentlandiitti, markasiitti	Rikkikiisu, kuparikiisu, milleriitti
Kaivoksen toimintavaihe	Toiminnassa	Suljettu / talkin prosessointi käynnissä	Suljettu	Suljettu	Toiminnassa
Vesityyppi	Suotovesi	Valumavesi	Valumavesi	Valumavesi	Suotovesi
Veden laatu					
pH	3,8–6,5	4,4–7,0	3,2–5,0	2,0–2,8	6,4–7,1
SO ₄ ¹⁾ (mg/l)	1160–8299	360–2028	59–1600	5243–8427	100–250
Fe (mg/l)	0,05–21,2	<0,03–24,9	0,28–19,6	1300–2567	<0,03–0,7
Al (mg/l)	0,01–334	<0,005–57,6	0,21–6,58	124–307	0,01–0,04
As (mg/l)	0,001–7,3	<0,0002–0,001	0,0001–0,0009	0,04–0,14	<0,001–0,002
Co (mg/l)	0,2–7,3	0,01–0,12	0,02–0,16	0,60–1,08	<0,0002–0,001
Cr (mg/l)	<0,001–0,1	<0,001–0,007	0,0001–0,005	0,43–0,77	<0,0002–0,003 ²⁾
Cu (mg/l)	<0,0002–0,8	<0,0005–5,08	0,003–0,026	1,70–3,10	<0,0001–0,002
Ni (mg/l)	6,1–116	0,48–3,54	0,06–0,47	0,83–1,55	0,008–0,05
Zn (mg/l)	0,2–70,4	0,41–19,7	0,40–2,16	4,79–9,96	<0,003–0,006
Viite	GTK:n julkaisematon aineisto	Räisänen 2004, Räisänen & Korhonen 2004	Räisänen et al. 2003	Räisänen et al. 2001, Räisänen 2009	Grönholm 1994, GTK:n julkaisematon aineisto

¹⁾ Laskettu rikkipitoisuudesta

²⁾ Cr^{III}

Kaivostoiminnasta aiheutuvat päästöt

Kaivostoiminta aiheuttaa elinkaarensa eri vaiheissa erilaisia ympäristövaikutuksia ja päästöjä ympäristöön. Alla olevissa kappaleissa toiminnan päästöt on kuvattu eri elinkaaren vaiheittain.

4.2.1

Päästöt malminetsintävaiheessa

Malminetsinnän päästöt rajoittuvat yleensä kairauksesta ja liikkumisesta aiheutuviin pakokaasupäästöihin. Vesiin voi kohdistua päästöjä (esim. koneiden öljyt) lähinnä vahinkotapauksissa.

Malminetsintävaiheessa koelouhinnasta aiheutuu päästöjä, joiden suuruus ja merkitys vaihtelevat louhintamääristä ja koelouhoksen sijainnista riippuen. Koelouhintavaiheessa louhinnasta, lastauksesta ja kuljetuksista voi aiheutua melua, pölyämistä ja pakokaasupäästöjä. Koelouhinta edellyttää usein myös louhokseen kertyvien vesien pumppausta pois louhoksesta. Kuivanapitovesien mukana lähi-alueen vesiin voi tulla kiintoaine- ja metallipäästöjä sekä räjähdysaineista peräisin olevia typen päästöjä.

Mahdolliset koerikastamon päästöt ovat samantyyppisiä kuin rikastamon päästöt varsinaisessa tuotantovaiheessa. Näitä käsitellään yksityiskohtaisemmin alla olevissa kappaleissa.

4.2.2

Päästöt kaivoksen rakentamisvaiheessa

Kaivoksen rakentamisvaiheessa rakennustöistä ja lisääntyneestä liikenteestä voi aiheutua melua sekä päästöjä ilmaan, vesiin tai maaperään.

Kaivoksen rakentamisvaiheessa tiestön ja eri maanrakennuskohteiden (mm. rikastushiekka- ja vesivarastoaltaiden padot sekä alueet, joilta pintamaat on poistettu) pölyämisestä aiheutuvat hienojakoisten hiukkasten päästöt ilmaan (pölypäästöt) saattavat erityisesti kuivina ja tuulisina aikoina olla merkittävät ja silmiinpistävät, jos päästöjen rajoittamiseen ei ole kiinnitetty huomiota. Pölypäästöjä aiheutuu myös mm. tarvekiven louhinnasta ja murskauksesta. Pölypäästöjen rajoittamiseen, kuten tiestön kasteluun, murskausaseman kotelointiin ja pölynsidontaan eri kohteissa tulisi varautua heti rakentamisvaiheen alussa (ks. Taulukko 31 luvussa 6.2.1). Jos louhittava ja murskattava kiviaines sisältää merkittäviä määriä grafiittia, on aiheellista varautua erityistoimenpiteisiin grafiittipölyn leviämisen estämiseksi, sillä grafiitti saattaa normaalista kivipölystä poikkeavien leijumis- ja kulkeutumisominaisuuksiensa vuoksi kulkeutua sopivissa olosuhteissa pitkienkin matkojen päähän kaivosalueesta.

Merkittävimmät kaasumaiset päästöt ilmaan muodostuvat rakennusaikana eri rakennuskohteissa sekä kiven louhinnassa ja murskauksessa käytettävien koneiden sekä rakennustarvikkeiden ja kivi- ja maa-aineksen kuljetuksiin käytettävien raskaiden ajoneuvojen pakokaasupäästöistä (hiukkas-, SO_2 -, CO_x - ja NO_x -päästöt). Pakokaasupäästöt ovat sitä suuremmat, mitä enemmän pintamaita poistetaan, tarvekiveä ja sivukiveä louhitaan sekä kuljetetaan louhokselta käyttökohteisiin ja läjitysalueille.

Rakennettavista kuivatus- ja vedenjohtamisjärjestelmistä, pato- ym. maanrakennuskohteista, läjitysalueilta sekä alueilta, joilta pintamaat on poistettu, voi eroosion kasvun seurauksena tulla valumavesien mukana lähinnä kiintoainepäästöjä kaivosalueen läheisiin vesistöihin etenkin sateisina aikoina ja keväällä lumen sulamisvaiheessa. Jos sopivia vedenkäsittelyjärjestelmiä, esimerkiksi laskeutusaltaita ja/tai pintavalutuskenttiä, ei ole rakennettu ja otettu käyttöön ennen maanrakentamistöiden

aloittamista, voivat kiintoainepäästöt alapuolisiin vesistöihin olla ajoittain suuriakin ja selvästi havaittavissa vesistöjen veden samentumisena (ks. luku 6.2.2).

Avolouhoksen sekä maanalaisen kaivoksen vinotunnelin ja muiden tilojen kuivanapitovesien mukana samoin kuin kaivosalueen maaperästä voi alapuolisiin vesistöihin tulla mm. kiintoaine- ja/tai metallipäästöjä. Kuivanapitovesien mukana voi tulla myös kaivoksen toiminnan valmisteluksi tehtävässä tai tarvekiven louhinnassa käytettävistä räjähdysaineista peräisin olevan typen päästöjä. Jos sivukiven läjitys käynnistyy laajana jo rakennusvaiheessa, voi myös läjitysalueen valuma- ja suotovesien mukana tulla mm. kiintoaine-, metalli-, sulfaatti- ja typpipäästöjä.

Rakentamisvaiheessa melupäästöt aiheutuvat pääasiassa louhinnan edellyttämistä räjäytyksistä, louhintaan, kiven murskaukseen ja eri rakennustöihin käytettävistä koneista sekä pintamaiden, murskeen ja louheen kuljetuksiin käytettävien raskaiden ajoneuvojen liikenteestä kaivospiirin sisällä. Kaivosalueelta kantautuva melu voi muodostua häiritseväksi, jos kaivosta rakennetaan lähellä vakinaista tai loma-asutusta tai esim. luonnonsuojelualueita, ja jos melua rajoittaviin toimenpiteisiin (mm. meluvallit, eniten melupäästöjä aiheuttavien koneiden ja ajoneuvojen korvaaminen vähemmän meluavilla, koneiden sijoittaminen mahdollisimman kauas häiriintyvistä kohteista ja/tai seinämien, vallien yms. taakse, räjäytysten ajoittaminen; ks. luku 6.2.4) ei ryhdytä tai niiden toteutus viivästyy.

Rakennusvaiheessa kaivosalueella toimii yleensä useita urakoitsijoita, joiden käytössä on paljon erilaisia koneita ja raskasta kuljetuskalustoa, jotka kuluttavat runsaasti polttoaineita ja edellyttävät säännöllistä huoltoa. Urakoitsijoiden ja kaivosyhtiön omassa toiminnassa muodostuu myös erilaisia jätteitä (mm. rakennus-, öljy- ja kemikaalijätteet) ja saniteettijätevesiä. Näin ollen rakennusvaiheen polttoaine-, öljy- ja kemikaalihuolto, ongelma- ja muu jätehuolto sekä saniteettijätevesien käsittely on jo suunniteltava huolellisesti etukäteen ja toteutettava järjestelmällisesti niin, ettei tankkaus- huolto- ja varastoalueilla pääse ympäristölle haitallisia kemikaaleja maaperään, pohjaveteen ja/tai vesistöön, ja että jätehuolto ja saniteettijätevesien käsittely täyttävät asetetut vaatimukset. Jos nämä toimenpiteet toteutetaan asianmukaisesti, satunnaiset kuljetuskaluston ja koneiden öljy- ja polttoainevuodot sekä rakentamisessa tarvittavien kemikaalien vuodot – ts. vahinkotilanteet – ovat yleensä merkittävimmät maaperän ja pohjaveden pilaantumisen vaaraa aiheuttavat tekijät rakennusvaiheessa. Tällöinkin maaperän pilaantuminen jää yleensä suhteellisen rajalliseksi, jos kaivosyhtiö ja urakoitsijat ovat ennakolta varautuneet asianmukaisesti onnettomuustilanteisiin ja kemikaalivuotojen torjuntaan.

Rakennusvaiheessa voi myös muodostua kaivannaisjätteitä, pääasiassa sivukiveä. Tällöin edellytetään esitettäväksi kaivannaisjätteiden jätehuoltosuunnitelmaa sekä kiviaineksen hallintasuunnitelmaa ja niiden toteuttamista viimeistään siinä vaiheessa, kun massiivinen sivukiven louhinta käynnistyy (ks. luku 5.4).

4.2.3

Päästöt tuotantovaiheessa

Kaivoksen tuotantovaiheessa rikastusprosessi on normaalisti merkittävin ympäristöpäästöjen aiheuttaja. Rikastuksessa aiheutuu määrällisesti huomattavin päästö prosessin jätteistä, eli rikastushiekasta ja/tai sakkalietteistä. Rikastusprosessin samoin kuin muunkin kaivostoiminnan ympäristöpäästöt ovat prosessikohtaisia ja riippuvat mm. käsiteltävän malmin koostumuksesta sekä käytettävistä menetelmistä ja -tekniikoista. Yhden malmin käsittelyprosessissa saavutettava päästötaso voi olla teknisesti ja taloudellisesti mahdollonta saavuttaa toisen malmin käsittelyprosessissa. Taulukossa 17 on vertailtu avolouhinnan ja maanalaisen louhinnan päästöjä ja ympäristövaikutuksia.

Taulukko 17. Avolouhoslouhinnan ja maanalaisen louhinnan päästöjen ja ympäristövaikutusten vertailu. (Environment Canada 2009)

Ympäristönäkökulma	Avolouhoslouhinta	Maanalainen kaivostoiminta
Maankäyttö	Suhteellisen laaja rikottu maa-alue	Avolouhintaa pienempi rikotun maa-alan tarve
Sivukiven läjityksen maa-alue	Laaja, pysyvän jätteen läjitysalue, tiestölastaukseen ja kuljetukseen, valumavesien keräysojat, pölyäminen, mahdollinen esteettinen haitta (maisemamuutos)	Ei maanpäällistä pysyvän jätteen läjitysalueita tai läjitysalue on pinta-alaltaan pienempi kuin avolouhinnassa (valumavesien keräysojat, tiestö, pölyäminen), mahdollinen esteettinen haitta
Rikastushiekka (maanpäälliset altaat)	Rikastushiekkaa muodostuu suuria määriä, jos prosessoitavan malmin määrä on suuri	Rikastushiekan määrä on yleensä pienempi kuin avolouhinnassa
Valitukset	Avolouhoksen ja sivukivialueiden laaja maa-alatarve, vesien käsittely, pölyäminen	Mahdollinen sivukiven maanpäällinen läjitys, suotovesien hallitsematon leviäminen, kaivosveden mahdollinen ylivuoto, melu, värinä
Maan sortuminen	Epätodennäköinen	Mahdollinen
Melu	Liikenne avolouhoksesta sivukiven läjitysalueelle ja rikastamolle, maanpäällinen murskaamo	Yleensä vähäinen tai ei lainkaan (maanalainen liikenne ja murskaus)
Kaivostuuletusmelu	Ei	Muodostuva melu vaatii huolellisen suunnittelun (ajoitus) ja meluntorjuntatoimia
Räjäytys	Melu ja värinä (huolellinen suunnittelu)	Melu ja värinä mahdollisia, jos kaivostoiminta lähellä maanpintaa
Pölyäminen	Avolouhoksesta malmin ja sivukiven kuljetukset, kiven räjäytys avolouhoksessa	Mahdollinen, jos kiven kuljetusta maan päälle
Kuivanapitovesi (kaivosvesi)	Veden määrä voi olla runsasta riippuen adannasta, ja pintavesi- sekä pohjavesivalunnasta (kallion ruheisuus) avolouhokseen. Veden laatu voi olla huono sisältäen räjähdyssainejäämiä, kiintoainesta, liukoisia haitallisia metalleja ja/tai metalleja. Vesi voi olla hapanta.	Veden määrä pysyy yleensä vakiona. Veden laatu voi olla huono sisältäen räjähdyssainejäämiä ja kiintoainesta sekä mahdollisesti haitallisia metalleja/metalleja. Vesi voi olla hapanta.

Alla olevissa kappaleissa on kuvattu tuotantovaiheeseen liittyviä päästöjä päästötyypeittäin. Kaivannaisjätteiden (sivukivet, rikastushiekat yms.) varastointiin liittyviä päästöjä on käsitelty kokonaisuudessaan luvussa 4.2.3.3.

4.2.3.1

Ilmaan kohdistuvat päästöt

Kaivostoiminnasta aiheutuu päästöjä ilmaan louhinnassa käytettävistä räjäytyksistä, malmin murskauksesta, hienontamisesta ja rikastamisesta, rikasteiden kuivauksesta, lämmöntuotannosta, liikenteestä ja työkoneista sekä rikastushiekan ja sivukivien läjittämisestä. Merkittävimpiä päästöjä ilmaan ovat räjähdyksikaasut (CO_2 , N_2 , CO , NO_x), pakokaasut (CO_2 , CO , hiilivedyt, NO_x , SO_2 , pienhiukkaset), prosessointikaasut (mm. bioliuotuksesta, bioliuoksen prosessoinnista ja rikasteen painehapetuksesta: H_2S , C_2S , SO_2 , CO_2 , S_0 ja kuivauksesta: SO_2), hiukkaspäästöt ja mineraalipöly. Mineraalipölypäästöjä (ts. hiukkaspäästöjä) aiheutuu useista eri toiminnoista, kuten esimerkiksi louhinnasta, kuljetuksista, lastauksista, murskauksesta, jauhatuksesta, kuivauksesta, sivukiven läjityksestä sekä rikasteen ja rikastushiekan varastoinnista. Mineraalipöly vastaa koostumukseltaan hienoksi jauhautunutta malmia ja sen sivukiviä, ja voi siten sisältää myös esimerkiksi terveydelle haitallisia metalleja. Mineraalipölyn haitallisuus riippuu malmin mineralogiasta ja mineraalien jauhautuvuudesta. Osa

mineraaleista, erityisesti kuitumaiset mineraalit kuten asbesti, voivat itsessään olla pölyssä haitallisia.

Louhinta ja malmin kuljetus

Malmin louhinnasta ja malmin kuljetuksesta aiheutuu mineraalipöly-, pakokaasu- ja räjähdyskaasupäästöjä (Taulukko 18). Malmin kuljetuksesta kuorma-autoilla aiheutuu liikenteelle tyypillisiä pöly- ja pakokaasupäästöjä sekä avolouhinnassa että maanalaisessa kaivoksessa, etenkin kun malmi kuljetetaan maan pinnalle varastoitavaksi. Mineraalipölyä irtoaa malmista, tien pinnoista, renkaista sekä lavoilta.

Louhinnassa käytettävät räjähdysaineet (esim. emulsioräjähteet, ANFO) muuttuvat räjähdyksessä pääosin vesihöyryksi, hiilidioksidiksi ja typeksi. Niiden lisäksi räjähdyskaasut sisältävät pieniä määriä haitallisia kaasuja, kuten hiilimonoksidia ja typen oksideja. Räjäytyksessä muodostuu myös savua. Räjähdyksessä muodostuvien kaasujen määrä on noin 0,7–1 m³ kaasua/räjähdysainekilo.

Räjäytyksissä muodostuva kuuma kaasu nostaa aina jonkin verran kiviainesta mukanaan ilmakehään. Räjäytyksissä ilmaan nousevan pölyn määrä riippuu panostuksesta sekä louhittavasta kiviaineksestä. Kiviaines laskeutuu pääosin kaivoksen välittömään läheisyyteen, mutta hienoainesta voi kulkeutua kauemmas kaivoksesta. Esimerkiksi grafiittipöly leviää laajalle alueelle ja on tahraavuutensa vuoksi pienisäkin määrin helposti havaittavissa.

Malmin ja sivukiven kuljetus tapahtuu kaivosalueella päällystämättömillä teillä, joille leviää kuljetusten mukana malmi- ja sivukiveä. Kiviaines jauhautuu hienjakoiseksi pölyksi raskaan liikenteen alla, jolloin teille muodostuu usein liejumainen pintakerros. Liikenteestä aiheutuvat pöly- ja pakokaasupäästöt kasvavat välilastausten ja purkamisten sekä matkan pituuden myötä, kun rikastamo sijaitsee kauempana kaivokselta.

Maanalaisessa louhinnassa kaivoksen tuuletusilman mukana ympäristön ilmaan kulkeutuvia päästöjä rajoitetaan työsuojelumääräyksillä, joten päästöt ovat yleensä pieniä. Kosteat olosuhteet kaivoksessa myös vähentävät pölyn leviämistä poistoilman mukana ulkoilmaan. Avolouhinnassa pöly- ja pakokaasupäästöt ovat usein selvästi maanalaista louhintaa suurempia lähinnä ajoneuvoliikenteen vuoksi. Myös niitä rajoitetaan työsuojelumääräyksillä.

Seulonta ja hienonnuks (murskaus ja jauhatus)

Murskauksen ja seulonnan ilmapäästöt riippuvat oleellisesti laitteiston sijainnista (Taulukko 18). Sisätiloihin tai maanalaiseen louhokseen rakennetun murskaus- ja seulontapiirin pölypäästöt eivät yleensä kuormita merkittävästi ympäristöä, sillä pölypäästöjä rajoitetaan työsuojelulainsäädännöllä. Kiviautojen kuormat kipataan murskaamon syöttönieluun yleensä kuitenkin ulkoilmassa avoimessa tilassa, eikä pölypäästöjä ole siten mahdollista saada täysin kerättyä käsittelyyn.

Ulkotiloihin kokonaan tai osittain rakennetusta piiristä ympäristöön aiheutuvat pölypäästöt ovat yleensä suurempia kuin sisätiloissa olevassa laitteistossa. Ulkona sijaitsevan piirin pölypäästöjen määrä ja laatu riippuvat säätiloista, malmin laadusta ja käytetystä tekniikasta.

Murskauksen ja seulonnan jälkeen tapahtuva jauhatus ei yleensä aiheuta merkittäviä ilmaan kohdistuvia päästöjä, sillä jauhatus tehdään usein suljetussa jauhatuspiirissä vesilietteessä (vrt. luku 2.3.3).

Rikastus

Rikastusprosessista voi aiheutua kaasu- tai pölypäästöjä esimerkiksi rikasteiden kiviainevauksesta, rikastuskemikaalien valmistuksesta ja käsittelystä tai itse rikastusproses-

sista. Lämmittämistä vaativista prosesseista aiheutuu kaasupäästöjä, jotka koostuvat polttoaineesta ja -tekniikasta riippuen typen oksideista, hiilidioksidista, rikkidioksidista ja hiukkasista. Rikastusprosessissa muodostuvista kaasuista voi myös aiheutua hajuhaittoja, kuten esimerkiksi rikkivedystä (H_2S).

Rikasteiden kuivaus perinteisellä polttoöljyllä lämmitettävällä kuivausrummulla on yksi merkittävimmistä ilmaan kohdistuvista päästölähteistä. Kuivausrummun kaasupäästö sisältää yleensä normaalien savukaasujen lisäksi pölyä ja rikkidioksidia.

Rikastuskemikaalien valmistuksesta kaivosalueella voi aiheutua kaasupäästöjä ilmaan. Esimerkiksi poltetun kalkin valmistuksesta aiheutuu hiilidioksidipäästöjä ja sammutetun kalkin valmistuksesta lämpöä ja vesihöyryä.

Rikastuskemikaalien käsittely mm. saostus- ja vaahdotusprosesseissa sekä suodattimien pesussa voi aiheuttaa kaasupäästöjä, kuten rikkivetyä ja typpidioksidia. Rikkivetyä vapautuu herkästi ilmaan kemiallisista rikkivetyä käyttävistä saostusprosesseista (pelkistys) sekä sellaisista vaahdotusprosesseista, joissa väkevä rikkihappo joutuu kosketuksiin sulfidimineraalien (etenkin magneettikiisun) kanssa. Myös biokasaliuotuksessa voi ilmaan vapautua hiilidioksidia ja rikkivetyä. Rikkivety on myrkyllinen, herkästi syttyvä ja epämiellyttävän hajuinen kaasu, jonka normaali hajuaisti havaitsee jo hyvinkin pieninä pitoisuuksina. Rikkivedyn pitoisuus voi rikastamora-kennuksessa nousta terveydelle haitallisen tason yläpuolelle, mutta kaivosalueen ulkopuolella haitta on yleensä lähinnä esteettinen (CICAD 2003). Typpidioksidia voi vapautua ilmaan esimerkiksi keraamisten suodattimien typpihappopesussa, kun väkevä typpihappo joutuu kosketuksiin sulfidimineraalien kanssa. Typpidioksidi on myös erittäin myrkylliseksi luokiteltu kaasu, joka voi aiheuttaa luonnon ympäristövaikutusten ohella myös terveysriskejä.

Rikastuskemikaaleista voi rikkivedyn ohella aiheutua hajuhaittoja myös ksantaateista sekä tärkkelysperäisistä painaja-kemikaaleista (esim. Raisorb). Ksantaattien hajuhaitat liittyvät tavallisesti niiden runsaaseen käyttöön. Tärkkelysperäisten painaja-kemikaalien hajuhaitat puolestaan kasvavat lämpötilan nousun myötä, etenkin kesähelteellä. Ksantaateista ja painaja-kemikaaleista aiheutuvat hajuhaitat ovat yleensä lähinnä esteettisiä.

Rikastusprosessista voi aiheutua ilmaan myös polttoainepäästöjä. Esimerkiksi autoklaavia liuotusprosessissa käyttävistä rikastusprosesseista aiheutuu ilmaan typen-oksidi- ja hiukkaspäästöjä, kun autoklaavia lämmitetään höyrykehittimillä riittävän reaktiolämpötilan aikaan saamiseksi.

Rikasteen varastointi ja kuljetus

Rikasteen varastoinnista, lastauksesta ja kuljetuksesta aiheutuu päästöjä ilmaan pölyämisestä ja ajoneuvojen pakokaasuista (Taulukko 18).

Rikasteen varastointi avoimella alueella aiheuttaa tavallisesti pölypäästöjä, ja pölyn liettyessä sadeveteen päästöt pinta- tai pohjavesiin ovat myös mahdollisia. Pölypäästöjä voi aiheutua joko varastokasasta itsestään tai lastauksessa varastoalueen maan pinnalle varisseesta kuivaneesta materiaalista. Pölypäästöjen määrä rikasteen varastoinnissa riippuu säätiloista sekä käytettävästä prosessi- ja kuivaustekniikasta. Pölyäminen varastokasan pinnasta vähenee, jos rikaste pidetään riittävän kosteana ja se sisältää mahdollisimman vähän täysin kuivaa materiaalia. Rikasteiden painesuodatuksella voidaan saavuttaa rikasteeseen tasainen, sopiva kosteus, mutta esimerkiksi kuivausrumpu tuottaa yleensä kuivempaa materiaalia.

Jos rikaste varastoidaan katetuissa varastohalleissa, ilmapäästöt rajoittuvat lastauksesta ja kuljetuksesta aiheutuviin pakokaasupäästöihin.

Taulukko 18. Malmin kuljetuksesta, seulonasta ja hienonnuksesta sekä rikasteiden varastoinnista ja kuljetuksesta aiheutuvat päästöt ilmaan kotimaisilla metallimalmikaivoksilla/-tuotantolaitoksilla.

Kaivos/ tuotantolaitos	Malmin kuljetus	Seulonta ja hienonnus	Rikasteiden varastointi ja kuljetus
Kemin kaivos	Ei ympäristöpäästöjä (maalainen louhinta ja nosto hissillä)	Seulonta ja hienonnus sisätiloissa, vähäisiä pölypäästöjä pölynpoistojärjestelmästä	Vähäisiä pöly- ja pakokaasupäästöjä rikasteiden lastausalueelta, rikasteet varastoidaan pääsääntöisesti sisätiloissa
Kittilän kaivos	Pölypäästöjä, pakokaasuja (CO ₂ , NO _x ja SO _x päästöt lasketaan polttoaineen kulutuksen perusteella)	Seulonta ja hienonnus sisätiloissa, vähäisiä pölypäästöjä pölynpoistojärjestelmästä	Ei pölypäästöjä rikasteiden varastoinnista, sillä alueella ei varastoida rikastetta (=kultaharkkoja); kultaharkkojen kuljetukset eteenpäin
Pyhäsalmen kaivos	Ei ympäristöpäästöjä (maalainen louhinta ja nosto hissillä)	Seulonta ja hienonnus sisätiloissa, vähäisiä pölypäästöjä pölynpoistojärjestelmästä	Pölypäästöjä lähinnä rikasteiden varastointi- ja lastausalueelta, kokonaislaskeuma alle 200 m:n etäisyydellä 155 kg/ha/kk Vähäisiä pakokaasupäästöjä ajoneuvoista lastauksessa, vähäisiä pöly- ja pakokaasupäästöjä rikki- ja sinkki-rikasteiden junakuljetuksesta avoimissa vaunuissa
Talvivaaran kaivos	Pölypäästöjä, pakokaasuja	Murskaus ja seulonta sisätiloissa, vähäisiä pölypäästöjä pölynpoistojärjestelmästä	Junakuljetuksesta vähäisiä pakokaasupäästöjä, rikasteiden kuljetus suljetuissa säiliöissä
Oriveden/ Jokisivun kaivos	Pölypäästöjä, pakokaasuja	Toteutetaan Sastamalan rikastamolla	Toteutetaan Sastamalan rikastamolla
Sastamalan rikastamo	ks. Oriveden/ Jokisivun kaivos	Pöly- ja melupäästöjä ulkotiloihin rakennetusta piiristä	Ei pölypäästöjä rikasteiden varastoinnista ja lastauksesta, varastointi ja lastaus hallissa Ei pölypäästöjä kuljetuksesta (auto-kuormat peitetään), vähäisiä pakokaasupäästöjä ajoneuvoista
Lahnaslammen kaivos	Pölypäästöjä, pakokaasuja	Murskaus ja varastointi sisätiloissa, vain vähäisiä pölypäästöjä pölynpoistojärjestelmästä	Ei pölypäästöjä rikasteiden varastoinnista ja lastauksesta, suodatuskuiva rikaste varastoidaan ja lastataan sisätiloissa

4.2.3.2

Päästöt vesiin

Kaivostoiminnan aikana ympäröiviin vesiin voi aiheutua kuormitusta kaivoksen kuivanapitovesistä, rikastusprosessista sekä sivukivien ja rikastushiekan varastoinnista. Lisäksi vesiin voi aiheutua päästöjä myös pölyn leviämisen tai maaperään kohdistuneiden päästöjen seurauksena. Alla on kuvattu yksityiskohtaisemmin louhinnasta ja rikastuksesta aiheutuvaa kuormitusta.

Louhinta

Kaivoksesta pumpataan maanpinnalle pohjavettä sekä sinne valuvaa pintavettä kaivoksen pitämiseksi kuivana louhintaa varten. Pumpkauksen tarve vaihtelee kaivoksittain riippuen alueen hydrologiasta. Pumpattavan veden laatuun vaikuttavat malmin koostumus sekä louhinnassa käytettävät räjähdysaineet. Malmin tyypistä riippuen louhinnassa voi liueta veteen esim. raskasmetalleja, puolimetalleja tai sulfaattia (Taulukko 19; vrt. luvun 4.1 Taulukoihin 15 ja 16). Esimerkiksi sulfidimalmien louhinnassa kuivanapitovedet ovat tyypillisesti sulfidimineraalien hapettumisen seurauksena happamia ja metallipitoisia. Räjähdysaineista voi puolestaan liueta veteen

typen yhdisteitä. Lisäksi kuivanapitovedet sisältävät usein hienojakoista liejua (kivien pinnoilta huuhtoutuvaa kiviainesta) sekä mahdollisesti myös esim. kaivoskoneista tai malmin kuljetuksessa valuneita öljyjä.

Louhinnassa käytettävät räjähdysaineet sisältävät yleensä lähes poikkeuksetta ammoniumnitraattia, joka voi liueta räjähteistä kaivosvesiin. Aikaisemmin oli yleisesti käytössä ammoniumnitraatin ja polttoöljyn seoksesta koostuva ANFO-niminen, herkästi veteen liukeneva räjähdysaine (94 % ammoniumnitraattia ja 6 % polttoöljyä). Nykyisin ANFO korvataan usein niukkaliukoisilla räjähdysaineilla, joista liukenee ammoniumnitraattia vähemmän veteen. Tällainen räjähdysaine on esim. poranreikään pumpattava vesi-öljyemulsio, KEMIITTI 800, jonka ammoniumnitraattipitoisuus on 75 %. Lisäksi käyttöön on tullut enenevässä määrin myös kahdesta porausreiässä räjähtävän seoksen muodostavasta komponentista, ns. kaasutusliuoksesta ja KEMIITTI 810 -matriisista, koostuvat räjähdysaineet. Niissä on kaasutusliuoksena tyypillisesti natriumnitriittiä ja natriumtiosyanaattia sisältävä vesiliuos. KEMIITTI 810 -matriisi on puolestaan emulsioräjähdysaineen välivalmiste ja sisältää ammoniumnitraattia 75–85 %. Edellä mainittuja räjähdysaineita voi esiintyä myös muilla kauppanimillä.

Louhinnassa räjähtämättä jäänyt räjähdysaine kulkeutuu malmin mukana rikastamolle tai sivukiven mukana jätealueelle. Räjähdysaineiden sisältämä ammoniumnitraatti liukenee rikastamolla, rikastushiekka-altailla tai läjitysalueilla veteen ja aiheuttaa typpikuormitusta alueen vesistöihin.

Louhinnan aikana pienet öljypäästöt vesiin (esim. 10–50 litran öljyvuoto hydrauliikkaletkun rikkoutumisesta) ovat mahdollisia esimerkiksi kaivoskoneiden hydrauliikkajärjestelmien vaurioiden seurauksena. Öljy joko sekoittuu lastattavan malmin joukkoon ja kulkeutuu rikastamolle, tai se kulkeutuu kaivoksen kuivanapitopumpausvesiin. Rikastamon vaahdotusprosessissa suurin osa öljystä nousee vaahdon mukana rikasteeseen ja voi aiheuttaa vaahdotumisoongelmia. Kuivanapitovesien mukana öljy kulkeutuu pumppaamolle, jossa se kerätään talteen öljynerotuslaitteistolla.

Kaivoksesta pumpattavat vedet kootaan yhteen pumppaussäiliöön tai -altaaseen, josta ne johdetaan tarvittaessa käsiteltäväksi esimerkiksi selkeytysaltaisiin tai rikastushiekka-alueelle ennen niiden johtamista ympäristöön. Kuivanapitovesistä aiheutuvien päästöjen vähentämistä on käsitelty tarkemmin kohdassa 6.2.2.2.

Taulukko 19. Kaivoksen kuivanapitoveden määrä ja laatu kotimaisilla metallimalmikaivoksilla vuonna 2009.

Kaivos/ tuotantolaitos	Pumppausvesi m ³ /v	Veden pH	Veden pääkomponentit mg/l
Kemin kaivos	748 000		N, kiintoaine
Kittilän kaivos	1 573 000	7,3	As, Sb, N, kiintoaine
Pyhäsalmen kaivos	908 261	2,8	Fe 440, SO ₄ 6960, Cu 38, Zn 350
Talvivaaran kaivos	720 000	5,0	Ni 4–5, Zn noin 9
Oriveden kaivos ¹⁾	138 760	7,4	kiintoaine 6,4, kokonaistyyppi 31
Jokisivun kaivos	Pieni vesimäärä (ei mitattu)	8,0	As 0,009, Ni 0,007
Lahnaslammen kaivos – suotovesi sivukivikasalta	800 000 155 000	5,0–6,0 3,5	Ni noin 1, Ni 50

¹⁾ sisältää mittauspisteestä johtuen myös ympäristön valumavesiä

Rikastus

Rikastuksesta voi aiheutua päästöjä vesiin itse malmista tai prosessissa käytetyistä kemikaaleista (Taulukko 20, vrt. luku 2.3.4). Rikastusprosessissa malmi hajotetaan mekaanisesti ja/tai kemiallisesti pienempään raekokoon eri mineraalijakeiksi. Malmin prosessoinnissa mineraalien kidepinnat rikkoutuvat ja mineraalien kemiallinen tasapaino muuttuu, jolloin niiden pinnoilta pääsee vapautumaan esim. metalleja ja rikkiä prosessivesiin.

Rikastuskemikaaleista kokoojakemikaalit ja flokkulantit ovat tyypillisesti sellaisia, joista ei aiheudu kovin merkittävää päästöä vesiin, koska valtaosa kemikaalista tarttuu rikasteeseen, mikäli annostelumäärä on sopiva. Tarpeettoman runsaan annostelun seurauksena voi kemikaalien ylijäämää joutua prosessivesiin ja prosessivesien mukana edelleen ympäristöön. Esimerkiksi fosforipitoisia kokoojia käytettäessä voi ylimääräisestä kokoojan käytöstä aiheutua vesiin ravinnekuormitusta. Kokoojista ksantaatit ovat vesiliuoksessa helposti hajoavia, ja niistä ei yleensä aiheudu merkittäviä päästöjä vesiin (kemikaalijäämä: Na ja/tai K). Myös aktivointikemikaalit tarttuvat suurelta osin rikasteen pintaan, ja vain pieni osa niistä joutuu jätevesiin. Vastaavasti syanidia, joka on myrkyllinen ja erittäin reaktiokykyinen aine, voi joutua jätevesien mukana vain pieniä määriä ympäristöön (esim. kullan tuotannossa), sillä syanidi hajotetaan jätevesistä pois ennen niiden johtamista pois prosessista (ks. luku 6.2.2.3). Syanidi hajoaa helposti mm. hapen vaikutuksesta. Muut käytettävät kemikaalit kulkeutuvat pääosin prosessivesiin aiheuttaen vaihtelevia päästöjä vesiin.

Rikastusprosessin vedet johdetaan yleensä rikastushiekan kanssa rikastushiekaltaaseen, jossa ne selkiytetään ja/tai käsitellään, ja palautetaan prosessiin tai johdetaan vesistöön. Osa rikastuskemikaalien yhdisteistä edelleen osittain hajoaa tai saostuu rikastushiekaltaassa. Rikastuskemikaaleista aiheutuvia päästöjä ei toistaiseksi vielä täysin tunneta. Esimerkiksi rikkihapon käyttö voi aiheuttaa merkittäviä sulfaattipäästöjä (vrt. Heikkinen *et al.* 2002, Heikkinen *et al.* 2009), sillä sulfaatti ei hajoa eikä useinkaan saostu rikastushiekaltaassa.

Taulukko 20. Rikastusprosessista aiheutuvia päästöjä vesiin ja ilmaan kotimaisilla metallimalmikaivoksilla vuonna 2009.

Kaivos/tuotantolaitos	Päästöt vesistöön / v	Päästöt ilmaan / v
Kemin kaivos ¹⁾	ka 34 t, kok.P 679 kg, kok.N 10 t, Ca 420 t, Fe 33 t, kok.Cr 28 kg, liukoinen Cr 5 kg	Vähäisiä pölypäästöjä rikastamon polynpoistojärjestelmän poistoilmassa
Kittilän kaivos ²⁾	Fe 97 kg, Mn 206 kg, Ni 4,7 kg, Sb 490 kg, As 10,1 kg, SO ₄ 141 t	Rikki- ja hiukaspäästöjä painehapetusprosessin / autoklaavin poistokaasuista
Pyhäsalmen kaivos	Cu 133 kg, Zn 641 kg, Fe 2676 kg, Ca 3790 t, SO ₄ 9230 t, Cd 1,2 kg, Pb 2,1 kg	Ei päästöjä ilmaan rikastusprosessista
Talvivaaran kaivos	Bioliuotuksesta ei vesipäästöjä, liuos kierrätetään metallien erotusprosessiin; liuos päästöt kierrätyksestä mahdollisia vain onnettomuustapauksissa Vesipäästöjä muodostuu metallien talteenottolaitokselta (jälkikäsitteilyn jälkeen)	Bioliuotuksesta ei pölypäästöjä, koska kasan pintaa kastellaan koko ajan
		Metallien talteenotosta rikkivety- ja CO ₂ -päästöjä (hajuhaitta)
Sastamalan rikastamo	Jätevettä juoksutettu ulos vain 28 000 m ³ ; vedessä pieni nikkelpitoisuus	Ei päästöjä ilmaan rikastusprosessista
Lahnaslammen kaivos	Jätevesijuoksutus päättyi 2010, sisäinen vesien kierrätys (2009: As 59,3 kg, Ni 91,2 kg)	Ei päästöjä ilmaan rikastusprosessista

¹⁾ Luvut perustuvat vuoden 2008 toimintaan, koska kaivoksella oli kuukausien tuotantokatko v. 2009.

²⁾ Vesipäästöt ympäristöön aiheutuvat lähinnä kaivoksen kuivanapitovesistä.

4.2.3.3

Muodostuvat jätteet ja niistä aiheutuvat päästöt

Kaivannais- ja prosessijätteet

Metallimalmikaivostoiminnassa muodostuvat tyypilliset kaivannaisjätteet ovat louhinnassa irrotettavat sivukivet, rikastusprosessissa muodostuva rikastushiekka ja rakentamisessa poistettavat pintamaat (erityisesti avolouhinnassa) (Taulukko 21). Lisäksi toiminnan aikana voi syntyä jätteiksi luokiteltavia sakkoja tai lietteitä esimerkiksi liuotusprosessin tai kemiallisten saostusreaktioiden jäännösmateriaalina (esim. kipsi- ja metallihydroksidisakat) tai kaivosvesien kiintoaineen laskeutuksen seurauksena (esim. kuivanapitopumppausvesien selkeytyksestä).

Sivukivet

Sivukiviä louhitaan sekä avolouhinnassa että maanalaisessa louhinnassa malmin irrottamiseksi. Maanalaisessa louhinnassa sivukivien osuus on yleensä vähäisempi kuin avolouhinnassa, jossa sivukivien louhintamäärät saattavat olla jopa suurempia kuin varsinaisen malmin louhintamäärä (Taulukko 21, ks. myös luku 2.3.1).

Maanalaisessa louhinnassa muodostuvat sivukivet käytetään tavallisesti suoraan kaivostäyttönä, eikä niitä varastoida maan päälle, lukuun ottamatta kaivoksen rakennusvaihetta, jolloin tarvetta kaivostäytölle ei vielä ole. Tällöin sivukivet käytetään tavallisesti hyödyksi esim. kaivoksen tiestön rakentamisessa. Avolouhinnassa muodostuvat sivukivet varastoidaan kaivosalueelle (Kuva 19), jos niiden hyötykäyttö

Taulukko 21. Sivukiven ja prosessijätteiden määrät ja käyttö/varastointi kotimaisilla metallikaivoksilla vuonna 2009.

Kaivos	Malmin louhinta t/v	Sivukiven louhinta t/v	Sivukiven käyttö/läjitys	Prosessijäte t/v	Läjitys/varastointi
Kemin kaivos ¹⁾	1 324 780	497 628	Maanalaisen kaivoksen sivukivi käytetään louhostäytteenä, avolouhoksen sivukivet louhostäytteenä ja pieni osa myydään hyötykäyttöön	Rikastushiekka 500 565	Varastointi jätealtaaseen
				Palakivi 158 578	Käyttö maanalaisessa täytössä
Kittilän kaivos ²⁾	780 000	8 990 000 (avolouhos)	Varastoidaan aumoihin luokiteltuna kemiallisten ominaisuuksien perusteella	NP-hiekka 1 000 000	Varastoidaan erillisiin altaisiin
		489 000 (maanalainen)		CIL-hiekka 50 000	
Pyhäsalmen kaivos	1 396 450		Sijoitettu louhoksiin	Rikastushiekka 732 325	Varastoitu jätealtaaseen
				Rikastushiekka 178 423	Palautettu kaivostäyttöön
Talvivaaran kaivos	10 800 000	4 300 000	Osa käytetään sekundaari-liuotuskasan pohjan täyttöön (alkuvaihe), suurin osa varastoidaan sivukiven läjitysalueelle	Kipsisakka	Varastoitu altaaseen
				Rautasakka, muu metallisakka	Varastoitu altaaseen
Oriveden kaivos			Sijoitettu louhoksiin		
Jokisivun kaivos	35 950	382 270	Varastointi läjitysalueelle (maanpoistomaata 48 740 m ³ meluvallina)		
Sastamalan rikastamo				200 000	Varastoitu jätealtaaseen
Lahnaslammen kaivos	427 754	110 597	Läjitys maan päälle / louhostäytönä	254 502	Varastoitu jätealtaaseen, hyötykäyttöön 28 741 t

¹⁾ Luvut perustuvat vuoden 2008 tuotantoon, koska kaivoksella oli pitkä tuotantokatko 2009.

²⁾ NP-hiekka on rikastushiekan ja neutraloinnin sakan seos ja CIL-hiekka on kullan rikastuspiirin jäte.



Kuva 19. Sotkamons kaivoksen sivukivien läjitysalue. (Kuva Mondo Minerals B. V. Branch Finland)

ei ole mahdollista esim. kaivosalueen maanrakentamisessa. Sivukivien hyötykäyttömahdollisuudet riippuvat niiden geoteknisistä ominaisuuksista ja ympäristökel-
poisuudesta (ks. luku 5.4.2 ja Liite 6). Hyvälaatuinen sivukivi voi soveltua myös
myytäväksi kaivosalueen ulkopuoliseen maanrakennuskäyttöön.

Kaivosalueelle varastoiduista tai loppusijoitetuista sivukivikasoista voi aiheutua
mineraalipöly- tai vesipäästöjä. Sivukivet läjitetään yleensä lohkareina, minkä vuoksi
merkittävää pölyämistä ei pääse tapahtumaan. Lohkareiden väleissä voi kuitenkin
olla louhinnassa hienoksi jauhautunutta mineraaliainesta, joka on herkkää pölyämi-
selle. Kiviaineksen mahdollinen rapautuminen, kasvittumisen mahdollistavan pinta-
kerroksen puuttuminen ja sivukivikasojen suuri korkeus lisäävät riskiä tuulieroosiolle
ja sen aiheuttamille pölyhaitoille.

Sivukivien vesipäästöjen laatu riippuu pääosin kivien mineralogisesta ja kemi-
allisesta koostumuksesta (ks. luku 4.1). Jos sivukivikasa sisältää esimerkiksi sulfi-
dimineraaleja ja on happoa tuottavaa, sivukivikasasta voi purkautua happamia ja
metallipitoisia valumavesiä ympäröiviin pinta- tai pohjavesiin (vrt. Taulukko 16).
Sivukivikasoista purkautuvat vedet sisältävät myös räjähdysainejäämiä, jotka aihe-
uttavat typpikuormitusta ympäröiviin vesiin.

Rikastushiekka

Rikastusprosessista syntyvä jäte eli rikastushiekka koostuu hienoksi jauhetuista mal-
mi- ja sivukivimineraaleista sekä rikastuskemikaalien jäämistä. Se loppusijoitetaan
tavallisesti vesilietteenä padoilla ympäröityyn altaaseen, jossa kiinteä materiaali las-
keutetaan altaan pohjalle ja selkeytynyt vesi johdetaan käsittelyyn, kierrätykseen
tai suoraan vesistöön (Kuvat 20 ja 21). Materiaalin määrän kasvaessa altaan patoja
korotetaan altaan varastotilavuuden lisäämiseksi (ks. luku 5.4.4.2).

Muodostuvasta rikastushiekasta suurin osa loppusijoitetaan rikastushiekka-al-
taisiin (Kuva 20), sillä sen hyötykäyttömahdollisuudet ovat rajalliset. Rikastushie-
kan hyötykäyttöä rajoittavat esimerkiksi sen fysikaaliset (esim. hienous, lujuus) ja
kemialliset ominaisuudet (esim. sulfidiset rikastushiekat: hapontuottopotentiaali,
ympäristölle haitalliset metallit; ks. luku 4.1). Loppusijoitettavan rikastushiekan mää-

rää voidaan kuitenkin usein vähentää hyödyntämällä rikastushiekan karkein osa maanalaisessa kaivoksessa louhostäytteenä. Kaivostäytteenä käytettävään karkeaan fraktioon lisätään yleensä pieni määrä kovettuvaa lisäainetta (esim. sementti, ma-suunikuona, lentotuhka), jotta se soveltuu paremmin kaivoksen rakenteen lujittamiseen. Täyttömateriaalin käyttö on monilla kaivoksilla kaivoksen toiminnan kannalta tärkeää. Uusi pastatäyttötekniikka mahdollistaisi lähes kaiken rikastushiekan hyödyntämisen louhostäytteenä. Pastatäyttötekniikassa rikastushiekka sakeutetaan ja siitä tehdään pastamainen materiaali, joka pumpataan louhostäytöksi maanlaiseen kaivokseen (INAP 2009, EC 2009).

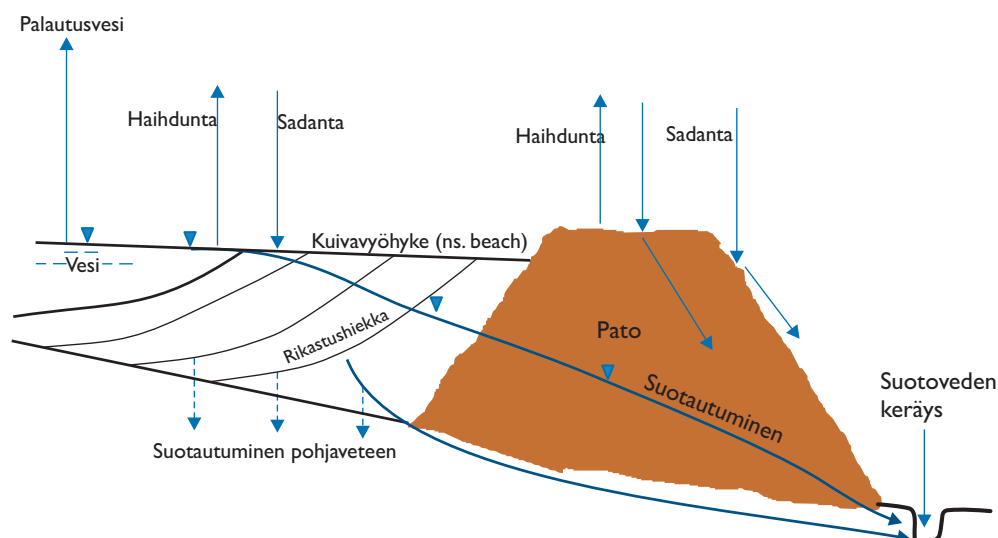
Rikastushiekka-altaasta voi aiheutua vesi- tai pölypäästöjä tai joskus myös lieviä hajuhaittoja. Rikastushiekka-altaalle vesilietteenä pumpattava rikastushiekka on raekooltaan hienojakoista ja voi kuivuuksaan aiheuttaa merkittävää pölyämistä. Pölyämistä edesauttaa rikastushiekka-aldaiden laaja pinta-ala ja sijainti usein korkeammalla ympäröivää maastoa. Rikastamon ollessa toiminnassa ja rikastushiekan jaon tapahtuessa koko patopenkereen ympärysmitalta, on altaan pinnan kuivuminen epätodennäköisempää kuin esimerkiksi yhdestä pisteestä tapahtuvassa purussa. Reunoilta pumpattaessa hienojakoisin osa rikastushiekasta kulkeutuu altaan keskelle, karkeajakoisemman materiaalin jäädessä purkupisteen läheisyyteen. Pölyäminen on mahdollista, etenkin kuivan ja tuulisen sään vallitessa, kuivista patopenkoista sekä padon ja vesitilan väliseltä alueelta, jossa materiaali voi päästä kuivumaan. Hajuhaittoja voi aiheutua esimerkiksi rikastuskemikaalien tai altaalla mahdollisesti tapahtuvien kemiallisten ja biologisten reaktioiden seurauksena (esim. rikkivety).

Merkittävimmät päästöt rikastushiekka-alueista kohdistuvat yleensä pinta- tai pohjavesiin joko jätevesien juoksutuksen tai vesien suotautumisen myötä. Rikastushiekka-altaasta purkautuvien vesien laatu riippuu mm. malmiesiintymän koostumuksesta, käytetystä rikastustekniikasta ja -kemikaaleista sekä rikastushiekan läjitystavasta ja altaan rakenteesta (Taulukko 15 ja ks. myös Heikkinen 2009). Metallimalmikaivoksilla vedet ovat usein happamia ja sisältävät vaihtelevia määriä malmin sisältämiä raskasmetalleja tai metalleja (Taulukko 15, luku 4.1). Osa rikastuskemikaaleista voi aiheuttaa myös ravinnekuormitusta (SO_4 , P, Ca).

Rikastushiekka-aldaiden veden määrää säädellään ohjaamalla vettä pois altaasta joko renkailla tai seteillä säädettävän dekantointikaivon kautta. Vedet johdetaan tavallisesti selkeytysaltaaseen, josta ne palautetaan takaisin rikastusprosessiin tai juoksutetaan laskeutumisen jälkeen vesistöön. Erityisesti rikastushiekasta rakennetut padot edellyttävät riittävän laajan kuivan vyöhykkeen (ns. beachin) padon ja vesitilan väliin varmistamaan patorakenteiden vakavuuden (ks. luku 5.4.4).



Kuva 20. Pyhäsalmen kaivoksen rikastushiekka-alue. (Kuva Pyhäsalmi Mine Oy)



Kuva 21. Vesien virtausreitit rikastushiekka-altaan patovyöhykkeellä, jossa ei ole tiivistä pohjakerrosta.

Normaalin jäteveden juoksutuksen ohella jätealtaasta voi suotautua vettä padon läpi tai sen ali (Kuva 21). Suotautuvat vedet kerätään yleensä ympärysojaan, josta vedet voidaan esimerkiksi palauttaa takaisin rikastushiekka-altaaseen, jos vesi ei laatunsa puolesta sovellu johdettavaksi vesistöön. Suotautumista voi tapahtua myös altaan pohjan läpi pohjavesiin, jos jätealtaan pohjarakenne on vettä läpäisevää maainesta. Yleensä altaan pohjan maaperän rakenne tutkitaan ennen rakentamista, ja pohja tiivistetään tarvittaessa esim. keinoitekoisella materiaalilla (esim. muovi, bentoniitti tms.) suotautumisen estämiseksi.

Maanpoistomassat

Kaivostoiminnan alkuvaiheessa, erityisesti avolouhoksen rakentamisessa, malmiesiintymän pinta paljastetaan puhtaaksi pintamaista. Nämä maamassat varastoidaan avolouhoksen lähistölle ja niitä hyödynnetään mahdollisuuksien mukaan kaivoksella tehtävissä maarakennustöissä. Massoja voidaan varastoida hyödynnettäväksi myös kaivoksen jälkihoitotöitä varten, jolloin varastointi voi olla hyvinkin pitkäaikaista. Jos massat eivät sovellu geoteknisten ominaisuuksiensa tai ympäristökelpoisuutensa puolesta hyödynnettäväksi maarakentamisessa toiminnan aikana tai jälkihoitotöissä, ne loppusijoitetaan alueelle. Maanpoistomaiden määrä ja laatu riippuvat mm. louhoksen koosta sekä paikallisen maaperän paksuudesta ja rakenteesta.

Sakat ja lietteet

Kaivostoiminnassa voi muodostua erilaisia sakkoja tai lietteitä rikastusprosessissa tai vesien käsittelyssä. Rikastusprosessissa sakkoja voi muodostua mm. liuotusprosessin jäännösluosten tai pesuvesien kemiallisessa käsittelyssä. Esimerkiksi Talvivaaran kaivoksella muodostuu noin 800 000 t/v kipsistä koostuvaa välineutralointisakkaa ja 700 000 t/v metallihydroksideista ja kipsistä koostuvaa loppusakkaa uuttoliuoksen jälkikäsittelyssä arvometallien talteenoton yhteydessä. Näille materiaaleille ei ole löydetty hyötykäyttömahdollisuuksia, joten kipsisakka loppusijoitetaan tiiviit pohjarakenteet omaavalle sivukivialueelle ja metallihydroksidi-kipsisakka erilliseen vesitiiviiseen altaaseen (Pohjois-Suomen ympäristölupavirasto 2007). Kittilän kaivoksen painehapetusprosessissa syntyvät neutralointisakat läjitetään rikastushiekkan mukana rikastushiekka-altaille.

Kaivosalueen vesien käsittelyssä voi muodostua sekä sakkoja että lietteitä. Mineraalisaostumista koostuvia sakkoja, kuten hydroksidisakkoja, syntyy mm. vesien

kemiallisessa käsittelyssä, esimerkiksi neutraloinnissa tai saostuksessa. Hydroksidisakkoja muodostuu myös rautapitoisen veden ilmastuksessa esim. rikastushiekka-altaassa. Sakkojen koostumus riippuu käsiteltävän veden laadusta ja käytettävistä kemikaaleista.

Vesien käsittelyssä muodostuu lietteitä mm. kiintoaineen poistossa kaivos- ja prosessivedestä. Kiintoaine poistetaan vesistä tavallisesti laskeuttamalla tai sedimentoimalla selkeytysaltaissa. Maanalaisessa louhinnassa selkeytysaltaat voivat sijaita joko louhostiloissa tai maan päällä. Avolouhinnassa altaat sijaitsevat avolouhoksen läheisyydessä maan päällä. Prosessivesien selkeytys tehdään useimmiten rikastushiekka-alueella ennen vesien johtamista takaisin prosessiin. Selkeytysaltaiden pohjalle kertyy lietettä, joka koostuu hienoksi jauhautuneista malmi- ja harmemineraaleista ja voi sisältää jäämiä räjähdysaineista (louhosvesien lietteet) tai rikastuskemikaaleista (prosessivesien lietteet). Sakat ja lietteet loppusijoitetaan tavallisesti kaivosalueelle joko omiin läjitysaltaisiinsa tai muiden kaivannaisjätteiden yhteyteen. Loppusijoitukselle asetetut vaatimukset riippuvat sakkojen ja lietteiden koostumuksesta.

Sakkoihin ja lietteisiin voi niiden koostumuksesta ja varastoinnista riippuen liittyä pölyämistä tai valumavesistä aiheutuvia vesipäästöjä.

Muut jätteet

Kaivoksilla syntyy edellä mainittujen kaivannais- ja prosessijätteiden lisäksi mm. seuraavia kaivos- ja rikastustoiminnasta riippumattomia jätteitä:

- pahvi- ja paperijätteet,
- metalliromu,
- sähkö- ja elektroniikkaromu,
- kumi- ja muovijätteet,
- ongelmajätteet,
- saniteettijätevedet,
- ym.

Jätteet yleensä lajitellaan ja toimitetaan kierrätykseen tai kaatopaikalle. Kaatopaikoille toimitettavien jätteiden määrä pyritään pitämään mahdollisimman vähäisenä.

Saniteettijätevedet käsitellään erillisinä joko kaivoksen omassa biologiskemiallisessa puhdistamossa tai kunnan jätevedenpuhdistamolla.

4.2.3.4

Melu ja värinä

Ympäristömelulla tarkoitetaan terveydelle haitallista, ympäristön viihtyisyyttä merkittävästi vähentävää tai työntekoa merkityksellisesti haittaavaa ääntä tai värinää. Melu vaikuttaa ihmisten terveyteen aiheuttaen mm. kuulovaurioita ja unihäiriötä.

Kaivostoimintaan liittyvistä melu- ja/tai värinäpäästölähteistä keskeisiä ovat louhintaräjäytykset, panosreikien poraaminen, irrotetun kiviaineksen lastaaminen ja kuljetus, murskaus, ylisuurten kivien rikotus ja murskaukseen liittyvät seulonnat sekä jauhatus. Kaivostoiminnassa prosessit murskauksesta eteenpäin tapahtuvat pääsääntöisesti sisätiloissa, jolloin melun vaikutukset ympäristöön ovat rakenteellisella suunnittelulla rajoitettavissa vähäiseksi. Joissain tapauksissa rikastamon ja sen oheistoimintojen melulähteet (puhaltimet yms.) voivat olla niiden kapeakaistaisuuden takia merkittäviä.

Toiminnan aiheuttama melupäästö esitetään usein päästölähteiden aiheuttamana A-painotettuna ekvivalenttimelutasona lähimmissä meluhaittaa kärsivissä kohteissa. Menetelmässä kaivostoiminnan melulle lasketaan sitä vastaava tasaisen melun suuruus esimerkiksi päiväaikana klo 07–22. Meluntorjuntatoimenpiteiden suunnittelu tai melun leviämismallin laatiminen edellyttää tietämystä laitekohtaisista äänitehotasoista. Melutasojen määrittämiseksi kaivosalueella tehdään melumittauksia (Kuva 22).



Kuva 22. Melumittausta Kittilän kaivoksella. (Kuva Agnico-Eagle Mines Ltd)

Louhintäräjäytyksistä aiheutuu tärinän lisäksi myös ilman värähtelyä, joka on taajuudeltaan osittain ihmisen kuuloalueella ja osittain sen alapuolella. Tätä pientaajuista, räjäytyksessä syntyvää ilman värähtelyä kutsutaan ilmanpaineaalloksi. Ilmanpaineaallon suuruuteen vaikuttavat tekijät vaihtelevat räjäytyksestä toiseen, mikä tekee ilmanpaineaallon suuruuden arvioimisesta vaikeaa. Ilmanpaineaallon leviämiseen ympäristöön ja samalla ilmanpaineaallon aiheuttamaan vaurioitumisriskiin vaikuttavat mm. säätila, maasto, esteet ja paineaallon tulosuunta. Muita ilmanpaineaallon syntyyn vaikuttavia syitä ovat ilmanpaine- ja maanvärähtelyimpulssit. Ilmanpaineaalto on suurin, kun räjähdysaine räjäytetään ilmassa tai pintapanoksena.

4.2.4

Päästöt kaivoksen sulkemis- ja jälkihoitovaiheessa

Kaivostoiminnan päättyessä alueella suoritetaan jälkihoito- ja sulkemistoimet (ks. luku 2.4, Heikkinen *et al.* 2005), joilla pyritään minimoimaan suljetulta kaivosalueelta aiheutuvat päästöt. Tuotannon päättyessä kaivosalueen päästöjen määrä vähenee toimintavaiheeseen verrattuna. Sulkemisen jälkeen kaivosalueelle jäävät lähinnä louhostilat ja jälkihoidetut kaivannaisjätteiden varastointikaset, joista voi kohdistua kuormitusta pinta- tai pohjavesiin. Kasaliuotusta käyttävillä kaivoksilla alueelle jäävät myös jälkihoidetut kasaliuotuksen jäännösmalmimurskekat, joista arvometallit on erotettu liuottamalla pois.

Louhostiloista voi purkautua kaivosvesiä ympäristöön joko ylivuotona tai kalli-onrakoja pitkin, kun louhostilat täyttyvät vedellä. Vastaavasti kaivannaisjätteiden varastointikasoista voi jälkihoitotoimenpiteistä riippuen purkautua valumavesiä suotautumalla patojen läpi tai kasojen pohjan kautta, jos kasan pohjarakenteet eivät ole tiiviitä ja pohjamateriaali on vettä läpäisevää (Kuva 21, luku 4.2.3.3). Suotautuminen voi toisinaan jatkua vielä pitkään kaivoksen sulkemisen jälkeen. Jos varastointikasa esimerkiksi peitetään vettä läpäisevällä peitolla, suotautuminen voi jatkua rajattomasti seuraillen alueen sadannan määrää.

Valumavesien laatu riippuu oleellisesti mm. malmiesiintymän tyypistä, jättemateriaalin koostumuksesta ja kemiallisesta rapautumisesta, rikastusprosessissa käytetyistä kemikaaleista sekä louhinnassa käytetyistä räjähdysaineista (vrt. taulukot 15 ja 16, luku 4.1). Lisäksi valumavesien laatuun vaikuttavat myös käytetyt jälkihoitomenetelmät (ks. luvut 6.2.3 ja 6.3). Valumavesien laatua parannetaan tavallisesti erilaisilla vesien käsittelymenetelmillä ennen niiden johtamista ympäristöön (vrt. luku 6.2.2.1). Käsittelyä varten vedet kootaan yhteen ojitusjärjestelyillä.

Aiemmin suljetuista kaivosalueista, joissa ei ole vielä edellytetty nykyainsäädännön mukaisia sulkemistoimia, voi aiheutua vesikuormituksen lisäksi pölypäästöjä ympäristöön mm. peittämättömiltä rikastushiekka-alueilta tai jälkihoitamattomilta kaivosalueilta. Vastaavasti kuin vesien laatu, myös pölyn laatu riippuu louhitun malmiesiintymän mineralogisesta ja kemiallisesta koostumuksesta. Kaivostyypistä riippuen pöly voi sisältää ympäristölle haitallisia raskasmetalleja tai puolimetalleja. Pöly voi sisältää myös sulfidimineraaleja, joiden hapettuminen voi aiheuttaa maaperän ja siten myös pinta- ja pohjavesien happamoitumista.

Kaivoksen sulkemisivaiheen päästöjä ja jälkihoitoratkaisuja on käsitelty yksityiskohtaisemmin esimerkiksi Kaivoksen sulkemisen käsikirjassa (Heikkinen *et al.* 2005).

4.3

Ympäristövaikutukset

Tässä luvussa ympäristövaikutuksilla tarkoitetaan YVA-lain (ks. luku 3.2.2) 2 §:n mukaisia ympäristövaikutuksia eli toiminnasta välittömästi tai välillisesti ihmisten terveyteen, elinoloihin ja viihtyvyyteen, maaperään, vesiin, ilmaan, ilmastoon, kasvillisuuteen, eliöihin, luonnon monimuotoisuuteen, yhteiskuntarakenteeseen, rakennuksiin, maisemaan, kaupunkikuvaan ja kulttuuriperintöön aiheutuvia vaikutuksia. Kaivostoiminnalla on elinkaarensa aikana sekä positiivisia että negatiivisia vaikutuksia yhteiskuntaan ja ympäröivään luontoon. Vaikutusten laajuus ja laatu vaihtelevat toiminnan eri vaiheissa, ja ne riippuvat ensisijaisesti malmityypistä ja malmiesiintymän koosta, jotka vaikuttavat mm. toiminnan laajuuteen sekä käytettäviin malmin louhinta- ja käsittelymenetelmiin (esim. avolouhos vs. maanalainen kaivos). Alla olevissa kappaleissa on kuvattu metallimalmikaivostoiminnan elinkaaren eri vaiheisiin liittyviä ympäristövaikutuksia.

4.3.1

Vaikutukset luonnonympäristöön

Metallikaivostoiminnasta voi luonnonympäristöön kohdistua vaikutuksia:

- maa- ja kallioperään,
- pinta- ja pohjavesiin,
- ilman laatuun,
- luonnon monimuotoisuuteen,
- eliöihin, ja
- maisemaan.

4.3.1.1

Malminetsinnän vaikutukset luonnonympäristöön

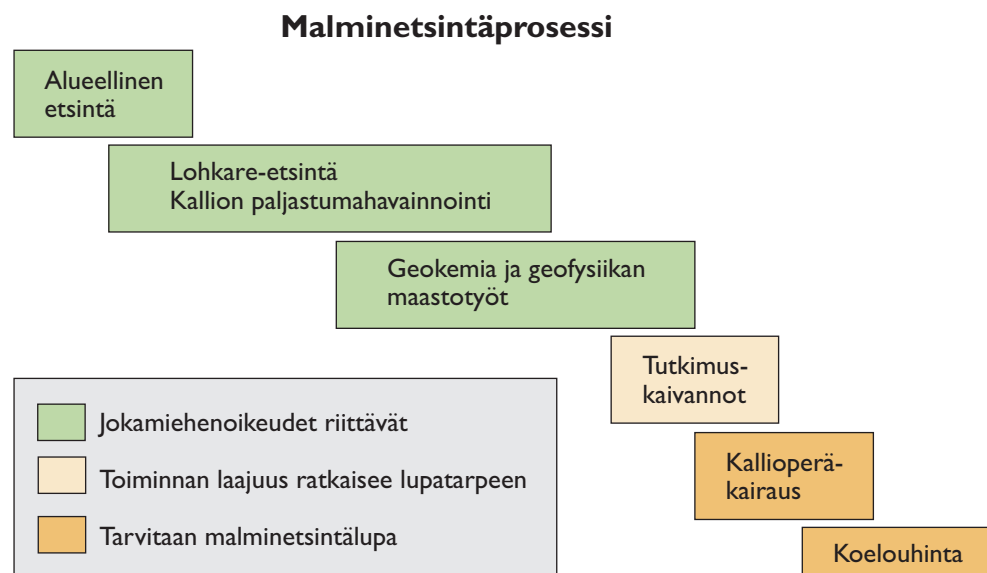
Malminetsinnän vaikutukset luonnonympäristöön ovat yleensä vähäisiä. Vaikutusten laatu ja merkittävyys riippuvat malminetsintävaiheesta ja siinä tarvittavista tutkimuksista ja niiden laajuudesta. Alueellisen malminetsinnän vaikutukset rajoittuvat lähinnä lentomittausten aiheuttamaan hetkelliseen meluun. Kohdentavan malminetsinnän vaikutukset luonnonympäristöön ovat yleensä vähäisiä ja korjautuvia, sillä kallion

havainnointi ja pintanäytteenotto, lohkare-etsintä sekä geofysiikan ja geokemian maastotyöt eivät muuta ympäristön tilaa. Tutkimusten ja näytteenoton vaikutukset kohdistuvat paikallisesti lähinnä pintakasvillisuuteen esimerkiksi kalliota peittävään sammaleeseen tai mittausslinjojen puustoon. Malminetsinnässä kuljetaan metsäautoteitä pitkin ja tiettömässä maastossa jalkaisin tai kevyellä maastokulkuneuvolla. Moottoriajoneuvoista voi syntyä maastoon paikoin liikkumisjälkiä. Näillä toimilla ei ole vaikutusta maisemaan, maaperään, pinta- tai pohjaveteen. Kohteellisen malminetsinnän pöly, melu ja värinävaikutukset ovat lyhytkestoisia eikä niitä voida pitää merkittävinä (Taulukko 22).

Mikäli malminetsintä etenee jatkotutkimuksiin ja kohteessa tehdään laajempia tutkimuskaivantoja, kallioperäkairausta ja/tai koelouhintaa, tulevat ympäristövaikutukset mahdollisiksi. Tällöin toiminta ei perustu enää jokamiehen oikeuksiin vaan toimenpiteisiin tarvitaan malminetsintälupa (Kuva 23). Sallitut toimenpiteet riippuvat alueiden suojeluarvoista ja lainsäädännöllisestä perustasta (ks. luku 3.1).

Tutkimuskaivantojen tieltä voidaan joutua kaatamaan puita, ja ne voivat aiheuttaa pintavesien paikallista samentumista tai muutoksia alueen elinympäristöissä. Haitat voivat olla merkittäviäkin, esim. lähteiden ja muiden arvokkaiden elinympäristöjen sekä kasvillisuuden tuhoutumista, jos kaivannot toteutetaan ilman kattavaa, asianmukaista suunnitelmaa.

Kairauksen ympäristövaikutukset riippuvat näytteenottokaluston raskaudesta. Kevyimmät telakoneet eivät jätä maastoon merkittäviä jälkiä, mutta telaketjukulustolla liikkuminen voi edellyttää puuston poistamista kulku-urilta ja kairauskohteesta tai joskus kevyen tiestön rakentamista. Lisäksi kairauspaikan ja huoltopisteen välisestä liikenteestä voi aiheutua vähäisiä ympäristövaikutuksia, esimerkiksi puuston pintajuuriston vaurioitumista. Kairauksessa tarvittava vesi otetaan alueen puroista, aiemmista kairanrei'istä, tai se tuodaan alueelle säiliöissä. Käytetty huuhteluvesi imeytetään kairauksen lopuksi maaperään saostusastian kautta. Kairauksen yhteydessä saattaa purkautua paineellista pohjavettä kairareistä. Kairauksen jälkeen kairausreikään jätetään usein jatkotutkimuksia varten maanpinnan yläpuolelle ulottuva,



Kuva 23. Yleiskaavio malminetsinnän vaiheittaisesta etenemisestä alueellisesta etsinnästä vaikutusten lisääntyessä kaivoslaissa säädettyyn malminetsintälupaa edellyttävään toimintaan. Ympäristön-suojelulain edellyttämiä ilmoituksia ja lupia on käsitelty luvussa 3.

Taulukko 22. Malminetsinnän eri toimintojen vaikutuksia luonnonympäristöön.

Vaikutus/ Toiminto	Maisema	Maaperä	Pintavedet	Pohjavesi	Kasvillisuus/ Eliöstö	Pöly	Melu	Tärinä
Kallio- paljastuman havainnointi	Ei	Ei	Ei	Ei	Sammaleen poisto havain- noinnin ajaksi	Ei	Ei	Ei
Näytteen- otto kallion pinnasta	Ei	Ei	Ei	Ei	Sammaleen poisto havain- noinnin ajaksi	Vähäinen	Ei	Ei
Lohkare- etsintä	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei
Geofysiikan maastotyöt	Ei	Ei	Ei	Ei	Puuston pois- to tutkimus- linjoilta	Ei	Ei	Ei
Geokemian maaperä- näytteen- otto	Ei	Ei	Ei	Ei	Kaluston liikkumisesta aiheutuvat korjautuvat vaikutukset	Ei	Vähäinen	Ei
Tutkimus- kaivannot	Tutkimuk- sen aikana mahdollinen	Tutkimuk- sen aikana mahdollinen	Tutkimuk- sen aikana mahdollinen	Ei/ vähäinen	Tutkimuksen aikana kaivu- kohdassa vaikutuksia	Vähäinen	Vähäinen	Ei
Kallioperä- kairaus	Ei	Ei	Ei	Ei	Kaluston liikkumisesta aiheutuvat vaikutukset	Vähäinen	Kohta- lainen	Vähäinen
Koelouhinta	Kyllä	Mahdollinen	Mahdollinen	Mahdollinen	Mahdollinen	Kyllä	Kyllä	Kyllä

korkilla suljettu suojaputki, joka aiheuttaa lähinnä esteettisen haitan. Jos suojaputki poistetaan, kairausreikä täyttyy ajan mittaan maa-aineksesta ja umpeutuu. Tutkimus-kairaukset eivät vaikuta pohjaveden laatuun. Kairausten melu ja tärinävaikutukset ovat vähäisiä ja paikallisia.

Koelouhinta muuttaa kohdealueen elinympäristöjä ja maisemakuva. Pitkäaikai-nen koelouhoksen kuivanapitopumppaus voi alentaa pohjaveden pintaa ja johtaa esim. koelouhosta ympäröivän suon vesitalouden muutoksiin. Koelouhinnasta ai-heutuu myös melua (räjäytykset sekä poraus-, kuljetus ym. kaluston käyttö), päästöjä vesiin (mm. kuivanapitovesien kiintoaine- ja metallipäästöt sekä räjähdysaineista peräisin olevat typen päästöt) ja ilmaan (mm. louhinnan pölypäästöt, koneiden pako-kaasupäästöt). Lisäksi koelouhinnassa muodostuu maa- ja kiviainesjätteitä (kaivan-naisjätteitä) ja muita jätteitä. Näistä kaikista voi aiheutua ympäristön pilaantumista tai sen vaaraa.

4.3.1.2

Kaivoksen perustamisen vaikutukset luonnonympäristöön

Kaivoksen avausvaiheessa tehdään louhintaa valmistelevia maansiirtotöitä (kasvi-peitteen- ja pintamaanpoistot, tarve- ja sivukiven louhinta avolouhoksessa, maanalai-sen kaivoksen vinotunnelin ja perien rakentaminen), rakennetaan infrastruktuuria (sähkö- ja tieverkostot, malmin käsittelyyn liittyvät rakenteet, huolto- ja toimistora-kennukset, kaivannaisjätteiden läjitysalueet jne.) ja tehdään vesien ohjausjärjestelyjä (käyttövedenotto, vesien talteenotto- ja kierrätysjärjestelyt, vrt. kpl 2.2). Louhostilojen rakentamisen yhteydessä aloitetaan myös louhoksen kuivanapitopumppaus.

Kaivosalueen rakennustoilla on luonnonympäristöön vastaavanlaisia vaikutuksia kuin muillakin saman suuruusluokan rakennushankkeilla. Rakentaminen muuttaa erityisesti alueen maisemaa, topografiaa ja maankäyttöä – muuttaen kaivospiirialueen tavallisesti lyhyessä ajassa lähinnä metsätalous- ja virkistyskäytössä olleesta, lähes luonnontilaisesta alueesta teollisuusalueeksi/-ympäristöksi. Muutokset alueen pinnanmuodoissa ja maisemakuvassa voivat rakennusvaiheessa olla hyvinkin nopeita ja silmiinpistäviä. Alueen maisema muuttuu voimakkaasti jo kasvipeitteen poistamisen, rakentamisessa tarvittavien maansiirtotöiden ja infrastruktuurin rakentamisen sekä louhinnan valmistelutöiden myötä. Rakentamisessa hyödyntämiskelvottomien sivukivien ja maanpoistomassojen läjittäminen alueelle muuttaa myös sekä maisemaa että topografiaa. Jos malmi rikastetaan kaivoksen yhteydessä, rakennetaan rikastushiekalle läjitysalue, joka myös edellyttää maansiirtotöitä ja mm. patojen rakentamista. Muutokset maisemassa ja topografiassa ovat yleensä suurempia avolouhinnassa kuin maanalaisessa louhinnassa, erityisesti jos maanalaisessa louhinnassa louhittavat sivukivet voidaan hyödyntää louhostiloissa perien tukemisessa ja täytössä.

Rakentaminen ja louhinnan aloittaminen lisäävät myös liikennettä, melua ja pölyämistä. Näillä, samoin kuin kasvipeitteen ja pintamaan poistolla sekä muilla maansiirtotöillä, on puolestaan vaikutuksia alueen luonnon monimuotoisuuteen, eläimistön ja kasvillisuuden elin- ja lisääntymisolosuhteisiin sekä lajistomäärään mm. elinympäristöjen pirstoutumisen, häviämisen, vähenemisen tai laatu muutosten kautta. Itse kaivosalueen ohella esimerkiksi sähkölinjojen ja tieverkostojen rakentamisella sekä rakentamisen edellyttämällä liikenteellä voi olla laajemmalla alueella vaikutusta eliöiden liikkumiseen ja reviireihin. Myös rakentamisesta, louhinnasta (mm. räjäytyksistä) ja liikenteen lisääntymisestä aiheutuva melu voi aiheuttaa reviri muutoksia. Joillain eliölajeilla melun on havaittu haittaavan mm. lisääntymistä. Metalli- ja sulfidiminaalipitoisen pölyn leviäminen voi puolestaan vaikuttaa kasvialueen laatuun ja muuttaa kasvien kasvuolosuhteita sekä nostaa sienten ja marjojen metallipitoisuuksia kaivospiirin lähialueella. Rakentamisen aikaisella pölyämisellä voi myös olla paikallisesti vaikutusta ilmanlaatuun.

Kasvi- ja maapeitteen poistot, rakentaminen sekä vesienohjausjärjestelyt muuttavat alueen hydrologiaa muuttaen mm. vesien imeytymistä ja virtaussuuntia sekä valumavesien määriä. Kasvillisuuden poisto ja maansiirtotyöt lisäävät esimerkiksi maaperän eroosiota ja pintavaluntaa, mikä puolestaan lisää kiintoaineen kulkeutumista vesistöihin ja voi johtaa vesistöjen paikalliseen samentumiseen. Vesien samentuminen sekä muutokset niiden virtausoloissa ja -suunnissa vaikuttavat vesieliöiden elinoloihin. Pintavalunnan lisääntyminen vähentää myös pohjaveden muodostumista rakennetuilla alueilla. Louhostilojen rakentaminen ja kuivanpitopumppaukset puolestaan alentavat pohjaveden pintaa louhoksen lähialueella ja muuttavat pohjaveden virtaussuuntaa kääntämällä virtauksen louhosta kohti. Pohjaveden pinnan aleneminen voi johtaa lähellä sijaitsevien kaivojen kuivumiseen. Muutokset alueen vesitaloudessa ja hydrologiassa voivat muuttaa myös kasvien kasvuolosuhteita ja johtaa elinympäristö- ja lajistomuutoksiin.

Määrällisten muutosten ohella maanpoistoalueiden valumavesien, louhosten kuivanpitovesien, läjitysalueiden suoto- ja valumavesien ym. kaivosalueelta tulevien vesien sisältämät kiintoaine-, metalli-, typpi- ym. päästöt vaikuttavat myös pinta- ja pohjavesien laatuun. Vesien laadulliset muutokset vaikuttavat edelleen kalojen ja muiden vesieliöiden viihtyvyyteen, kasvuun ja lisääntymiseen sekä veden ja vesistön käyttömahdollisuuksiin.

Rakennusvaiheen vaikutusten laatu ja laajuus riippuvat toiminnan suuruudesta ja esiintymän geologiasta. Muihin toimintavaiheisiin verrattuna toiminnan rakentamisvaihe vaikuttaa yleensä merkittävimmin alueen maisemaan, kasvillisuuteen ja pintavesien hydrologiaan. Muutokset tapahtuvat pääosin kaivospiirin alueella, mutta ne saattavat näkyä esim. maisemakuvassa useiden kilometrien päähän.

Toiminnan aikaiset vaikutukset luonnonympäristöön

Kaivoksen tuotantovaiheen aikana louhosta laajennetaan ja syvennetään, louhittu malmi murskataan ja murskattu malmi kuljetetaan joko muualle rikastettavaksi tai rikastetaan paikan päällä. Louhinnan mahdollistamiseksi louhostiloja pidetään kuivina pumpaamalla. Louhinnan seurauksena kaivosalueelle varastoitujen sivukivien määrät kasvavat, ja rikastuksen alkaessa rikastushiekka-aluetta aletaan täyttää.

Tuotantovaiheessa merkittävimmät vaikutukset luonnonympäristöön aiheutuvat pölyämisestä ja alueen vesiin kohdistuvista muutoksista (Taulukko 23). Pölyämistä voi aiheutua mm. louhinnasta, malmin käsittelystä, liikenteestä sekä rikasteen ja kaivannaisjätteiden varastoinnista. Vastaavasti kuin rakentamisvaiheessakin pölylaskeuma voi vaikuttaa maaperän ja vesien laatuun sekä kasvillisuuteen ja sen kasvuoloihin. Pölyn kertyessä kasvien pinnoille niiden valon saanti vähenee tai pinta voi kärsiä mekaanisista tai kemiallisista vaurioista, jotka vaikeuttavat kasvien yhteyttämistä ja kasvua. Jos pöly sisältää ympäristölle haitallisia metalleja tai sulfidimineraaleja, pölyn leviäminen lisää metallien kertymistä kasveihin ja maaperään. Tästä voi olla seurauksena maaperän happamoitumista, mikä heikentää kasvien ja maaperän eliöiden kasvu-/elinoloja, ja johtaa edelleen pinta- tai pohjavesien laadun heikentymiseen. Useimmat haitalliset metallit ovat happamissa oloissa liukoissa, biosaatavammassa muodossa, jolloin niiden toksisuus eliöille kasvaa. Pölyäminen voi aiheuttaa myös vesien liettymistä tai samentumista, joka voi puolestaan aiheuttaa vesieliöille terveyshaittoja tai muuttaa niiden elinympäristöä ja aiheuttaa siten lajistomuutoksia.

Alueen vesiin kohdistuvia määrällisiä muutoksia voivat aiheuttaa sekä avolouhinnassa että maanalaisessa louhinnassa mm. malmin louhinta ja louhostilojen kuivanaipitopumppaus. Malmin irrottaminen räjäyttämällä muuttaa ympäröivän kallioperän rakoja muuttaen kallioperän hydraulisia ominaisuuksia ja siten myös pohjaveden virtausta. Kuivanaipitopumppaus alentaa pohjaveden pinnan tasoa ja muuttaa virtaussuuntia kaivoksen ympäristössä, mistä voi seurata läheisten pohjavesikaivojen vesipinnan ajoittaista alenemista tai kuivumista. Kuivatuskartion suuruuteen vaikuttavat kaivoksen syvyys sekä maa- ja kallioperän vedenjohtavuus. Louhostilojen kuivanapidon ohella raakaveden otto voi alentaa raakavesilähteen pintaa. Raakaveden tarvetta pyritään usein pienentämään vesien kierrätyksellä. Muutokset vesipintojen tasoissa voivat aiheuttaa aiempaan tilanteeseen sopeutuneiden kasvi- ja eläinlajien häviämisen tai taantumisen alueelta. Vaikutusten merkittävyys riippuu ympäristön luonnonolosuhteista ja kasvillisuuden ja eläimistön suojellisuudesta.

Laadullisia muutoksia ympäröiviin vesiin voi puolestaan aiheutua etenkin kaivannaisjätteiden varastointialueilta purkautuvista vesistä, jätevesistä, rikastamoalueen pintakuivatusvesistä, ja louhoksen kuivanaipitovesistä. Muutosten laatu (ts. vesien koostumus) riippuu ennen kaikkea malmin tyypistä (vrt. luku 4.1), malmin rikastusmenetelmästä ja vesien käsittelystä. Sulfidimetallimalmituotannossa on tyypillistä happamien, metalli- ja sulfaattipitoisten vesien muodostuminen. Vesien happamoituminen ja metallikuormitus aiheuttavat haittaa vesieliöille sekä vesien talous- ja virkistyskäytölle. Pahimmassa tapauksessa ne voivat johtaa esimerkiksi kalakuolemiin. Rikastushiekka-altaan vedet ja rikastusprosessin jätevedet voivat sisältää myös jämiä rikastuskemikaaleista (esim. sulfaattia, orgaanisia yhdisteitä, metalleja), jotka voivat aiheuttaa ravinnekuormitusta tai olla eliöille haitallisia. Esimerkiksi ksantaattien ja mäntyöljyn on todettu olevan vesieliöille haitallisia jo suhteellisen pieninä pitoisuuksina (Bertills *et al.* 1986; Arizona Chemical 2008). Liukoiset metallit (esim. Cu, Cd, Pb) lisäävät edelleen ksantaattien haitallisuutta (Bertills *et al.* 1986) ja mäntyöljy voi lisätä veden biologista hapenkulutusta, mikä voi johtaa kalakuolemiin.

Sulfidimineraalien hapettumista tapahtuu myös louhostiloissa louhinnan edetessä. Louhoksesta pumpattavat kuivanaipitovedet voivat sisältää kiintoaineksen sekä sulfidimineraalien hapettumisreaktioissa vapautuneiden metallien ja sulfaatin ohella

myös jäämiä räjähdysaineista. Räjähdysaineet ovat useimmiten ammoniumnitraatipohjaisia, joten niistä voi liueta louhosvesiin mm. nitraatteja ja ammoniumia, joilla on vesistöjä rehevöittävä vaikutus. Räjähdysaineet voivat sisältää myös orgaanisia haitta-aineita (esim. mineraaliöljyjä), jotka voivat olla vesieliöille haitallisia. Toiminnan aikana vesien ja maaperän laadun heikentymistä voi aiheutua myös kemikaalien varastoinnista ja käsittelystä sekä koneista ja laitteista kemikaali- tai öljyvuojojen seurauksena. Myös louhosvedet voivat sisältää kaivoskoneista ja -laitteista peräisin olevia voiteluaineita tai -öljyjä.

Louhinnan ja liikenteen aiheuttamasta melusta ja tärinästä voi aiheutua häiriötä alueen eläimistölle. Toisaalta kaivosalueille voi myös muodostua eliöille uusia elinympäristöjä. Esimerkiksi rikastushiekka-altaiden selkeytysaltaat ovat usein linnuille tärkeitä levähdys- tai pesimäpaikkoja.

Melun ohella liikenteestä ja koneista sekä räjäytyksistä aiheutuu myös pakokaasuja ja räjäytyskaasupäästöjen myötä jossain määrin hiilidioksidi-, typpi- ja hiilimonoksidipäästöjä ilmaan. Vastaavasti myös energiankulutukseen liittyy energiantuotantotavasta riippuen esim. hiilidioksidi-, rikin ja typen oksidi- sekä pienhiukkaspäästöjä. Hiilidioksidi on kasvihuonekaasu, joka edistää ilmaston lämpenemistä, ja typen oksidit voivat aiheuttaa kasvillisuudelle vaurioita ja happamoittaa ja/tai rehevöittää maaperää ja vesiä. Rikkidioksidi aiheuttaa puolestaan vesistöjen ja maaperän happamoitumista sekä voi heikentää kasvien yhteyttämistä tai aiheuttaa neulasvaurioita. Hiilimonoksidi ja pienhiukkaset ovat hengitettynä terveydelle haitallisia.

Toiminnan aikana maisema muuttuu edelleen jossain määrin etenkin kaivannaisjätteiden varastointikasojen koon kasvun vuoksi. Vastaavasti kuin rakentamisvaiheessa maisemamuutokset ovat todennäköisempiä avolouhinnassa kuin maanalaisessa kaivostoiminnassa louhoksen laajentumisen ja sivukivien maan päällisen varastoinnin myötä.

4.3.1.4

Sulkemisen jälkeiset vaikutukset luonnonympäristöön

Kaivostoiminnan päättyttyä kaivosalueelta poistetaan kaikki ympäristölle haittaa aiheuttavat, alueen jatkokäytön kannalta tarpeettomat rakenteet ja laitteet, ja alue kunnostetaan turvallisesti mahdollista jatkokäyttöä varten. Suljetulle kaivosalueelle jäävät yleensä vain kunnostetut ja maisemoidut kaivannaisjätteiden varastointialueet sekä louhostilat/avolouhos ja niihin liittyvät vesienkäsittelyjärjestelmät. Louhostilat tuetaan ja/tai täytetään ja avolouhoksen reunat muotoillaan sortumien ehkäisemiseksi, ja niiden annetaan täyttyä vedellä. Louhosten täyttymisen myötä pohjaveden pinta louhoksen ympäristössä palautuu ja virtaussuunnat muuttuvat.

Keskeisin riski luonnonympäristölle suljetusta kaivosalueesta ovat kaivannaisjätteiden varastointialueilta ja louhoksista mahdollisesti purkautuvat vedet (Taulukko 23). Sulfidimalmialueilla hapan kaivosvaluma voi jatkua vuosikausia, jos sulfidien hapettumisreaktioita ei saada läjitysalueilla ja louhoksessa hallintaan. Varastointialueilta hapan metallipitoinen vesi voi suotautua esimerkiksi padon alitse tai varastointialueen pohjan kautta ympäröiviin pohjavesiin tai suoraan padon lävitse ympärysojaan ja pintavesiin (Kuva 24). Louhoksen täyttyessä vedellä sen seinämiin kertyneet ja kaivostäytössä muodostuneet sulfidien hapettumistuotteet huuhtoutuvat ja aiheuttavat metallipitoisten vesien leviämisen kalliorakojen pitkin pohjaveteen tai ylivuotona pintavesiin. Vesikuormituksen hallinta edellyttää usein vesien käsittelyä ja niiden laadun seurantaa vielä pitkään kaivosalueen sulkemisen jälkeenkin. Sulfidimineraalien hapettuminen jatkuu esimerkiksi louhoksessa veden pinnan yläpuolelle jäävissä seinämissä vielä täyttymisen jälkeenkin.

Muita mahdollisia luonnonympäristöön kohdistuvia riskejä suljetusta kaivosalueesta voivat olla esimerkiksi maanvajoamat tai sortumat louhoksilla tai sivukivikasoissa, joista voi aiheutua esimerkiksi terveyshaittoja eläimistölle.



Kuva 24. Hapettuvia rautasulfideja sisältävältä sivukivikasalta purkautuva hapen, rautasaostuma- (punertavan ruskea) ja metallipitoinen suotovesi. (Kuva M. L. Räisänen)

Taulukko 23. Kaivostoiminnasta luonnonympäristöön kohdistuvia ympäristövaikutuksia toiminnan eri vaiheissa (varjos-
tetut laatikot). Ympäristövaikutukset voivat olla joko positiivisia tai negatiivisia.

Toimintavaihe	Maa- ja kallioperä	Maisema	Pohjavesi	Pintavesi	Kasvillisuus ja eläimistö	Ilman laatu (pölyäminen, päästöt ilmaan)
Perustaminen						
Maansiirtotyöt						
Louhinnan valmistelu						
Infrastruktuurin rakentaminen						
Vesien ohjausjärjestelyt						
Kuljetukset						
Toiminta						
Louhinta		Avolouhinta				
Malmin murskaus					Avolouhinta	Avolouhinta
Rikastus						
Rikasteen varastointi						
Kaivannaisjätteiden varastointi						
Veden käyttö ja vesien ohjausjärjestelyt						
Kuljetukset						
Kemikaalien varastointi						
Sulkemisen jälkeinen aika						
Maisemointi						
Kunnostetut kaivannais- jätteiden varastoalueet						
Louhostilat		Avolouhinta				

Vaikka kaivosaluetta ei yleensä voida palauttaa toimintaa edeltäneeseen tilaan, niin maisemoinnilla ja kasvillistamisella alue voidaan sovittaa paremmin ympäröivään maisemaan ja estää pölyvaikutukset. Kasvillisuuden leviämisen myötä myös alueen luonnon monimuotoisuuden voidaan olettaa palautuvan. Sulkemisvaiheessa maisemointi, varastointikasojen peittäminen ja kasvillistaminen aiheuttavat alueen hydrologiaan päinvastaisia muutoksia kuin kaivoksen rakentamisvaihe (esim. pinta-valunnan väheneminen, vesien imeytymisen lisääntyminen, kiintoainekuormituksen väheneminen).

4.3.2

Sosiaaliset vaikutukset

Kaivostoiminnalla on kaikissa sen toiminnan vaiheissa merkittäviä sosiaalisia vaikutuksia, jotka toisinaan aiheuttavat myös kiivasta keskustelua julkisuudessa. Sosiaaliset vaikutukset ovat merkittävästi hankesidonnaisia kerrannaisvaikutuksia ja poikkeavat siten luonteeltaan muista, pääosin mitattavaan luonnontieteelliseen tietoon perustuvista, kaivostoiminnan vaikutuksista. Kaivostoiminnan aiheuttamien sosiaalisten vaikutusten luonteeseen ja merkittävyyteen vaikuttavat paitsi kaivoksen koko ja sijainti, myös kaivosyhtiön ja vaikutusalueen osallisryhmien välisen tiedonkulun ja vuoropuhelun laatu.

Kaivostoiminnan sosiaalisia kerrannaisvaikutuksia synnyttävät biofyysiset ja sosioekonomiset muutokset toistuvat usein varsin samantyyppisinä taulukon 24 mukaisesti.

Taulukko 24. Kaivostoiminnan aloittamiseen usein liittyvät biofyysiset ja sosioekonomiset muutosprosessit.

Kaivostoiminnan aiheuttamat muutokset			
Biofyysiset muutokset		Sosioekonomiset muutokset	
Maaluonto ja vesistö	Luontoarvojen suojelu	Asutus	Asutuksen muutokset
	Suojeltavat alueet		Uuden asutuksen sijoittaminen
	Suojeltavat kasvilajit		Kaivosyhteisön muodostuminen
	Suojeltava eläimistö	Elinkeinot	Elinkeinoelämän vilkastuminen
	Pinta- ja pohjavedet		Nykyisten elinkeinojen muutokset
	Maisemavaikutukset		Uudet elinkeinot ja yritykset
	Melu ja pöly	Talous	Palvelutason muutos
	Luonnon saastuminen		Verotulojen kehitys
	Vesistöjen saastuminen		Vaurastuminen, hyvinvoinnin kasvu
	Liikenteen saasteet	Työllisyys	Työllisyyden kasvu
			Välilliset työpaikat
		Kaivostoimintaan liittyvät kouluttamistarpeet	

Kaivoksen lähivaikutusalueella vaikutukset kohdistuvat elinkeinojen harjoittamiseen, viihtyvyyteen sekä luonnon kotitarve- ja virkistyskäyttöön. Vaikutuksia aiheuttavat mm. lisääntyvä liikenne, melu, pöly, savukaasut, tärinä ja jätevedet.

Kauempana itse kaivosalueesta, pääosin kuntatasolla, korostuvat myönteiset taloudelliset ja työllisyysvaikutukset. Ne kohdentuvat erilaisten kerrannais- ja välillisten vaikutusten sekä julkisen talouden vahvistumisen kautta lähes kaikkiin kuntalaisiin. Kaivoksen tuoma työntekijä- ja väestölisäys vaikuttaa paikalliseen elämäntapaan sekä parantaa kunta- ja kaupallisten palveluiden tarjontaa ja saatavuutta.

Ennen kaivoksen rakentamista tapahtuvan malminetsinnän ja kaivoksen suunnitteluvaiheen aikana korostuvat paikallisten asukkaiden epätietoisuus ja lähinnä taloudellisesta näkökulmasta ymmärrettävä ”Not In My BackYard”, eli NIMBY-ajattelu. Suomessa erityisesti uraanin etsinnän yhteydessä on myös törmätty kaivostoiminnan aloittamisen totaaliseen vastustamiseen, josta käytetään käsitettä BANANA (Build Absolutely Nothing Anywhere Near Anybody).

Suomessa aiemmin toimineiden kaivosten yhteyteen on perustettu lähes poikkeuksetta kiinteä kaivosyhdyskunta. Siksi vielä nytkin on vallalla epätietoisuutta ja huolta kaivoshankkeen väestöllisistä vaikutuksista sekä siitä, millainen uusi yhteisö mahdollisine sosiaalisine ongelmineen alueelle muodostuu.

Kaivostoiminnan aikana hankkeen sosiaaliset vaikutukset liittyvät aina kohteena olevaan yhteisöön ja alueen vallitsevaan laajempaan yhteiskunnalliseen rakenteeseen. Vaikutukset voivat olla suoria, kuten esim. talous- ja työllisyysvaikutukset tai maankäytön estyminen muilta toiminnoilta maa-alojen siirtyessä kaivostoimintojen käyttöön (esim. poronhoitoalueilla porotaloudelta). Vaikutukset voivat olla myös epäsuoria, kuten vaikutukset alueen virkistyskäyttöön ympäristön muuttumisen vuoksi. Taulukkoon 25 on kiteytetty yleisimmät kaivoshankkeen sosiaalisten vaikutusten osatekijät ja niitä mittaavat kriteerit sekä lyhyt luonnehdinta näin mahdollisesti aiheutuvista muutoksista.

Kaivoksen sijainnista ja mm. työvuorojärjestelyistä riippuen syntyy erilaisia vaatimuksia kaivoksen työntekijöiden tarvitseman asutuksen sijoittumisen ja pysyvyyden suhteen. Sosiaaliset vaikutukset ovat näissä oloissa ratkaisevasti erilaisia. Työ- ja asutusjärjestelyjen osalta tulee selkiyttää, ratkaiseeko kehityksen pelkkä kysyntä vai tarjonta, ja mikä suunnittelussa on kunnan ja yhtiön roolijako.

Taulukko 25. Kaivoshankkeen sosiaalisten vaikutusten osatekijät ja niiden kriteerit sekä hankkeen mahdollisesti aiheuttamat muutokset. (Ks. Reinikainen & Karjalainen 2009)

Sosiaalisten vaikutusten osatekijät	Vaikutuksia mittaava kriteeri	Hankkeen mahdollisesti aiheuttamia muutoksia
Elämäntapa	Väestö	Väestömäärän tai rakenteen muutokset
	Elinympäristö	Muutokset lähialueen ja kunnan sosiaalisessa luonteessa
	Omavaraistalous	Luonnon virkistys- ja kotitarvekäytön muutokset, esim. alueen fyysisen ja sosiaalisen luonteen muuttumisen myötä
Palvelut	Kuntapalvelut	Muutokset kuntapalveluiden tarjonnassa ja saatavuudessa
	Kaupalliset palvelut	Muutokset yksityisten kaupallisten palveluiden tarjonnassa ja saatavuudessa
Poronhoitoalueilla vaikutukset porotalouteen	Kannattavuus	Paliskunnan toiminnan kannattavuus. Laidun- ja vasonta-alueiden sekä laidunkierron muutokset vaikuttavat kannattavuuteen.
	Porojen määrä	Porojen lukumäärän muutokset
	Porotuoteimago	Poronlihan ja muiden porotuotteiden imagon muutokset markkinoiden näkökulmasta
Kuntatalous	Työllisyys	Muutokset työllisten määrässä
	Yritysten määrä	Muutokset yritysten määrässä
Matkailu	Erämaaimago	Muutokset alueen erämaaluonteessa ja sen markkinoinnissa

5 Ympäristöselvitykset

Kaivostoimintaa koskevan ympäristölupahakemuksen tulee sisältää kattavat, toiminnan päästöjä ja vaikutuksia sekä ympäröivän luonnon tilaa koskevat selvitykset, ja tarvittaessa myös ympäristövaikutusten arviointiselostus (ks. luku 3.3). Ympäristöselvitysten tavoitteena on arvioida toiminnan mahdollisia vaikutuksia ympäristöön sekä vähentää ja estää haitallisten vaikutusten muodostuminen ennen toiminnan aloittamista, toiminnan aikana ja toiminnan päätyttyä. Selvitysten tarpeeseen ja niiden laajuuteen vaikuttavat sekä toiminnan laajuus ja luonne että sijaintipaikka ja sen ympäristöolot. Kussakin kaivoshankkeessa ympäristölupahakemukseen tarvittavista selvityksistä on hyvä keskustella valvonta- ja lupaviranomaisten kanssa hyvissä ajoin ennen lupahakemuksen jättämistä. Lupahakemuksen osalta suunnitellut toiminnot ja niiden päästö- sekä vaikutusarvioinnit tulisi pohjautua jo mahdollisimman pitkälle valittuihin toteuttamistaparatkaisuihin.

Merkittävä osa ympäristöselvityksistä (mm. perustilaselvitys, Natura-arviointi) tehdään jo ennen toiminnan käynnistämistä osana ympäristövaikutusten arviointia ja/tai ympäristölupahakemusta. Toiminnan aikana ympäristön tilaa ja siihen kohdistuvaa kuormitusta tarkkaillaan seurannalla (ks. luku 7), jonka tulosten perusteella tehdään tarvittaessa vähentämistoimia kuormituksen hallitsemiseksi (ks. luku 6). Hallitsemattomien päästöjen tai kuormituksen lähteiden selvittäminen vaatii usein erillisiä selvityksiä toiminnan aikana. Kaivoksen sulkemisen jälkeen seurannalla tarkkaillaan jälkihoitotoimenpiteiden ympäristövaikutuksia ja niiden toimivuutta. Myös näihin voi liittyä selvitysvaateita.

5.1

Perustilaselvitys

Ennen kaivostoiminnan aloittamista tehdään ns. perustilaselvitys, jonka tavoitteena on kartoittaa ja kuvata ympäristön hankkeen toteuttamiselle ja toteuttamistavoille asettamat edellytykset ja reunaehdot. Lisäksi selvityksen tavoitteena on kuvata alueen ympäristön lähtötila ennen kuin siihen kohdistuu toiminnasta merkittäviä muutoksia (ks. Salminen *et al.* 2000, Heikkinen *et al.* 2005). Kaivoshankkeissa perustilaselvitys tehdään viimeistään ennen kuin malminetsintä- tai kaivosalueella tehdään suurempia maansiirto- tai louhintatöitä.

Perustilaselvitys luo pohjan toiminnan ympäristövaikutusten arvioinnille ja toimintojen sijoittamiselle paikalliset ympäristöolot huomioiden. Toiminnan myöhemmissä vaiheissa perustilaselvityksen lähtötilanne toimii vertailutasona toiminnan seurannalle, toiminnasta aiheutuvien vaikutusten arvioinnille ja jälkihoidon tavoitteiden asettamiselle. Tämän vuoksi perustilaselvityksen tulee painottua niihin tekijöihin/olosuhteisiin:

1. joiden tilaan tulevilla kaivostoiminnalla voi olla vaikutusta (esim. vesien ja/tai maaperän laatu, pinta- ja pohjavesien pinnan korkeudet, virtaamat ja virtaussuunnat, lähteet, alueen väestö tai eliöstö, arvokkaat elinympäristöt, maankäyttö), tai

2. jotka voivat olla merkittäviä vaikutusten muodostumisen kannalta (esim. maa- ja kallioperän hydrogeologiset ominaisuudet, pinnan muodot, sadanta ja tuulen suunta; vrt. toiminnan päästöt ja vaikutukset luku 4).

Esimerkiksi vesien ja maaperän kemiallisten ja fysikaalisten kuvausten tulee kattaa alueen perustila kaiken toiminnan mahdollisesti aiheuttaman kuormituksen (esim. haitta-aineet, ravinteet, kemikaalit, säteily) tai ympäristöön kohdistuvien laatumuutosten osalta. Lisäksi perustilaselvityksessä yksi keskeisimpiä asioita on tehdä riittävät maa- ja kallioperätutkimukset kaivannaisjätteiden läjitysalueiden sijoittamisen pohjaksi (vrt. luku 5.4.3.1). Perustilaselvitykseen liitetään usein arvio muodostuvien jätteiden, erityisesti sivukivien ympäristökelpoisuudesta (vrt. luku 5.4.2) kairautietojen perusteella. Perustilaselvityksen laajuus suhteutetaan hankkeen laajuuteen.

Perustilaselvitys sisältää yleensä kuvaukset suunnitellun toiminta-alueen ja sen vaikutusalueen:

- luonnontilasta (mm. maisema, pinnanmuodot ja -korot, luontotyytit, kasvillisuus, eläimistö, linnusto),
- ilmastosta ja ilman laadusta,
- geologiasta ja ympäristön laadusta (mm. maa- ja kallioperän rakenne, geokemia ja hydrogeologiset ominaisuudet; sammalten, humusten ja vesisedimenttien geokemiallinen koostumus),
- pinta- ja pohjavesistä (mm. valuma-alueet, pohjavesialueet, hydrologia ja hydrogeologia, geokemiallinen ja fysikaalinen laatu, vedenkäyttö, vesialueiden käyttö ja kalastus, arvio vastaanottavan vesistön kantokyvystä),
- maankäytöstä ja kulttuuriympäristöstä (mm. maankäyttötyypit, yhdyskuntarakenne, kiinteistöt ja infrastruktuuri, kaavoitus, liikenne, luonnonvarojen hyödyntäminen),
- suojelusta (esim. suojelualueet ja suojeluperusteet), ja
- sosio-ekonomista oloista (mm. väestömäärä ja -rakenne, asuminen, elinolot, viihtyisyys, palvelut, elinkeinotoiminta).

Uraanin tai uraania sisältävien esiintymien louhintaan tähtäävillä hankkeilla perustilaselvityksen tulee kattaa myös alueen radiologinen perustila (uraanin ja muiden radionuklidien esiintyminen ympäristössä sekä säteilytasot).

Perustilaselvityksen sisältöä on kuvattu tarkemmin mm. kaivostoiminnan YVA-opissa (Salminen *et al.* 2000) ja Kaivoksen sulkemisen käsikirjassa (Heikkinen *et al.* 2005). Perustilaselvitys toimii yleensä pohjana YVA-lain mukaisessa ympäristövaikutusten arviointimenettelyssä sekä ympäristölupahakemuksessa. Liitteessä 4 on esitetty esimerkki perustilaselvityksen sisällysluettelosta.

5.2

Ympäristövaikutusten selvittäminen

Lainsäädäntö edellyttää toiminnan ympäristövaikutusten selvittämistä kaivoshankkeissa ennen toiminnan aloittamista (mm. YSL 86/2000 5 §, YSA 9 § ja 11 §, LSL 1096/1996 65 §, YVA-laki 468/1994, KaivosL 621/2011). Tämä velvollisuus perustuu ympäristönsuojelulaissa määriteltyyn yleiseen, jokaista toiminnanharjoittajaa koskevaan selvilläolovelvollisuuteen toiminnan ympäristövaikutuksista, ympäristöriskeistä ja haitallisten vaikutusten vähentämismahdollisuuksista (YSL 5 §).

Ympäristövaikutusten arviointi voi olla ajankohtaista jo malminetsintähankkeissa, jos esimerkiksi toimitaan Natura 2000-verkostoon kuuluvalla tai ehdotetulla alueella tai niiden läheisyydessä (ks. luku 5.2.2; vrt esim. Idman & Kahra 2007), jos

malminetsinnässä muodostuu maa- ja kiviainesjätteitä (KaivosL 621/2011), tai jos etsintävaiheessa tehdään koelouhintaa ja/tai -rikastusta (vrt. Mustonen *et al.* 2007). Muutoin vaikutukset arvioidaan yleensä viimeistään ympäristölupahaun yhteydessä.

Tehtävien selvitysten laajuus riippuu toiminnan mittakaavasta. Malminetsintä-hankkeissa vaikutukset arvioidaan kaivannaisjätteiden jätehuoltosuunnitelmissa ja pienemmissä kaivoshankkeissa osana ympäristölupahakemusta, mutta laajemmissa hankkeissa toteutetaan YVA-lain mukainen YVA-menettely (vrt. luku 3.2.2).

5.2.1

Ympäristövaikutusten arviointi

Ympäristövaikutusten arviointi tulee kaivoshankkeissa kyseeseen viimeistään ympäristölupaa haettaessa. Toiminnan laajuudesta riippuen vaikutukset arvioidaan joko osana kaivannaisjätteen jätehuoltosuunnitelmaa (osa malminetsintähankkeista) tai ympäristölupahakemusta, tai ympäristölupahakemusta edeltävässä erillisessä YVA-menettelyssä (vrt. luku 3). Arvioitavien ympäristövaikutusten tulee sisältää sekä luonnonympäristöön, kulttuuriympäristöön että ihmisiin ja yhteiskuntaan kohdistuvat välittömät ja välilliset vaikutukset, jotka voivat olla joko positiivisia tai negatiivisia. Arvioinnin tulee kattaa koko kaivoshankkeen elinkaaren aikaisten vaikutusten tarkastelu kaivoksen elinkaaren rakentamisvaiheesta sulkemiseen ja jälkihoitoon asti.

Onnistuneen ympäristövaikutusten arvioinnin tekeminen edellyttää riittävää kuvausta alueen perustilasta (ks. luku 5.1) sekä täsmällistä suunnitelmaa toteutettavan kaivoshankkeen tuotantoprosessista (mm. louhinta, rikastusprosessit, muodostuvat päästöt, elinkaari). Toiminnan ympäristövaikutuksia ei voida arvioida riittävällä tasolla, jos toimintasuunnitelma ja tiedot päästöjen laadusta ja määrästä ovat puutteellisia.

Ympäristövaikutusten arviointi on tärkeä osa koko hankkeen toteuttamisen suunnittelua, sillä vasta ennakoitujen ympäristövaikutusten perusteella voidaan suunnitella ja toteuttaa toimet, joita tarvitaan haitallisten ympäristövaikutusten ehkäisemiksi tai rajoittamiseksi. Esimerkiksi kaivannaisjätteiden läjitysalueille tarvittavien rakenteiden ja vesienhallintajärjestelmien suunnittelu edellyttää kaivannaisjätteiden ympäristökelpoisuuden karakterisointiin perustuvaa ympäristövaikutusten arviointia (vrt. luku 5.4). Riskinhallintatoimien kohdistamisessa voidaan käyttää apuna ympäristöriskinarviointia (ks. luku 5.2.3).

Kaivoshankkeissa keskeisiä arvioitavia ympäristövaikutuksia ovat mm. (vrt. Taulukot 22, 23 ja 25):

- Kaivosalueen rakentamisen vaikutus maisemaan, alueen luonnonoloihin, maankäyttöön ja hydrologiaan, sekä vesien, ilman ja maaperän laatuun
 - Maarakennustyöt, louhinnan valmistelu, infrastruktuurin rakentaminen, kuljetus- ja voimajohtoyhteyksien rakentaminen, liikenteen, melun ja pölyn lisääntyminen, maamassojen läjittäminen
- Louhinnan ja murskauksen päästöt ja niiden vaikutukset ihmisiin ja alueen ympäristöön
 - Melu, pöly, värinävaikutukset
 - Kuivanapitopumppauksen vaikutukset alueen vesipintoihin ja vesien virtaussuuntiin sekä vesien käytölle ja alueen elinympäristöille
 - Louhinnan ja räjähdysaineiden käytön vaikutukset vesien laatuun
- Rikastuksen ja rikasteen varastoinnin päästöt ja niiden vaikutukset ilman, maaperän ja vesien laatuun
 - Muodostuvat prosessi-/jätevedet, rikastuskemikaalien vaikutukset vesiin, pölyäminen
 - Bioliuotuksen ja kemikaalikäsittelyn ilmapäästöt

- Vesien hallinta- ja ohjausjärjestelyt (raakaveden otto, jätevedet, kuivanapitovedet)
 - Vaikutukset vesien laatuun, määrään, virtaussuuntiin, ja virkistyskäyttöön
- Kaivannaisjätteiden läjityksen ja loppusijoittamisen päästöjen vaikutukset ilman, vesien ja maaperän laatuun
 - Kaivannaisjätteiden karakterisointi, valuma- ja suotovesien laatu (ml. rikastuskemikaalien jäämät)
 - Pölyäminen
- Kemikaalien käyttö ja varastointi
 - Vaikutukset vesien, maaperän ja ilman laatuun (kemikaalijäämät vesissä, kemikaalivuodot varastoinnissa tai kuljetuksessa)
- Liikenne- ja kuljetukset
 - Melu- ja pölyvaikutukset, päästöt ilmaan, päästöt maaperään
- Hankkeen vaikutukset ihmisiin, yhteiskuntaan ja kulttuuriympäristöön
 - Päästöjen vaikutukset terveyteen
 - Maankäytön muutosten vaikutukset elinkeinoihin, virkistyskäyttöön, luonnonvarojen hyödyntämiseen, rakennettuun ympäristöön ja kiinteistöihin sekä niiden arvoihin
 - Vaikutukset sosiaaliseen ympäristöön (esim. väestö, elinkeinot ja palvelut, asuminen, koettu turvallisuus ja viihtyisyys, työllisyys)
- Kaivostoiminnan lopettaminen ja kaivosalueen sulkeminen
 - Sulkemistoimenpiteiden vaikutukset
 - Alueelle jäävistä rakenteista aiheutuvat vaikutukset, erityisesti kaivannaisjätteiden läjitysalueet ja vedellä täyttyvät louhostilat; vaikutukset vesien laatuun, sortumavaarat
 - Vaikutukset alueen maankäyttöön ja maisemaan.

Vaikutusten arvioinnin pohjaksi tarvitaan monia erillisselvityksiä ympäristön tilasta sekä toiminnassa muodostuvista päästöistä ja niiden leviämisestä. Kaivoshankkeissa tyypillisiä selvityksiä ovat esimerkiksi:

- Perustilaselvitys (ks. luku 5.1)
- Luontoselvitykset ja -kartoitukset (kasvillisuus, luontotyytit, eläimistö, linnusto, vesiekologia, kalasto, luonto- ja suojeluarvot, luonnon monimuotoisuus); elinympäristömuutosten arviointi
- Muodostuvien kaivannaisjätteiden ympäristökelpoisuuden karakterisointi (ks. luku 5.4.2) ja läjitysalueisiin liittyvien päästöjen arviointi
- Rikastuskemikaalien ympäristötietojen ja käyttöturvallisuustiedotteiden kokoaminen
- Arviot/laskelmat louhoksen kuivanapitopumppauksen kuivatuskartion laajuudesta, sekä kuivanapitopumppausvesien määrästä ja laadusta
- Arvio muodostuvien jätevesien määristä ja laadusta sekä vastaanottavan vesistön sietokyvystä
- Vesitaselaskelmat ja virtaamamuutosten arviointi
- Laskelmat haitta-aineiden kulkeutumisesta vesissä
- Arviot/laskelmat/mallinnukset pölyn ja kaasupäästöjen (ml. pakokaasujen) laadusta ja leviämisestä
- Maisema-analyysi
- Melumallinnus
- Tärinälaskelmat
- Arvio kuljetus- ja liikennemääristä, onnettomuustarkastelu
- Paikalliselle väestölle suunnatut haastattelu- ja kyselytutkimukset sosiaalisten vaikutusten arvioimiseksi.

YVA-menettelyssä tulee hankkeen toteuttamiselle esittää vaihtoehtoja toiminnan ja ympäristön kannalta kokonaisedullisimman ratkaisun löytämiseksi. Kaivoshankkeissa toteutusvaihtoehtoja voidaan esittää esim.:

- kaivos- ja rikastustoimintojen sijoittamiselle yhteen tai erillisiksi (malmin kuljetus muualle rikastettavaksi)
- toiminnan päätoimintojen (rikastamoalue, sivukivien ja rikastushiekan läjitys-alueet) sijoittamiselle kaivosalueelle
- malmin rikastuksen ja rikasteen jatkojalostuksen toteuttamiselle
- vesien hallinnalle (raakaveden ottaminen, jätevesien johtaminen)
- kuljetusten järjestämiselle (kuljetusten toteuttaminen, kuljetusreitit).

Kaivoshankkeiden YVA-menettelyä ja YVA-arvioinnin sisältöä on kuvattu yksityiskohtaisemmin Salminen *et al.* (2000) julkaisussa. Lisäksi esimerkiksi Stakes ja Sosiaali- ja terveysministeriö ovat julkaisseet oppaita ihmisiin kohdistuvien ja sosiaalisten vaikutusten arvioinnista (esim. Juslen 1995, Sosiaali- ja terveysministeriö 1999, Kauppinen & Tähtinen 2003, Nelimarkka & Kauppinen 2007). Esimerkkejä kaivostoimintaan liittyvistä viime aikoina toteutetuista ja vireillä olevista YVA-menettelyistä on nähtävillä ympäristöhallinnon ja ELY-keskusten verkkosivuilla (Suomen ympäristökeskus 2010b, Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus 2011).

5.2.2

Natura-arviointi

Natura-arviointi laaditaan kaivoshankkeissa, joiden toiminta-alue sijaitsee valtioneuvoston Natura 2000 -verkostoon ehdottomalla tai verkostoon sisällytetyllä alueella, niiden läheisyydessä tai yläjuoksulla alueeseen nähden. Arvioinnilla varmistetaan, ettei kaivoshankkeesta ole haitallisia vaikutuksia Natura-alueen suojeluperusteisiin. Arviointi laaditaan joko malminetsintä lupaa tai viimeistään kaivos- tai ympäristölupaa haattaessa (vrt. luku 3; Söderman 2003, Idman *et al.* 2007). Jos kaivoshankkeelle tarvitaan myös YVA-menettely, tehdään Natura-arviointi yleensä osana YVA-menettelyä (Söderman 2003).

Ennen varsinaista Natura-arviointi- ja lausuntomenettelyä voidaan tehdä Natura-tarveharkinta, jonka tarkoituksena on selvittää tarvitaanko hankkeessa varsinaista Natura-arviointi- ja lausuntomenettelyä (vrt. luku 3.2.3). EY-tuomioistuimen päätöksissä on aina edellytetty Natura-arviointia, ellei ole varmuutta, ettei Natura-alueelle aiheudu vaikutuksia (Ylitulkkila *et al.* 2009). Kaivoshankkeissa laaditaan varsinainen Natura-arviointi käytännössä yleensä suoraan.

Natura-arvioinnissa esitetään yksityiskohtainen arvio kaivostoiminnan vaikutuksista Natura-alueen niihin luonnonarvoihin, joiden suojelemiseksi alue on sisällytetty Natura 2000 -verkostoon. Suojeluperusteet ovat joko luontotyyppiä ja/tai lajien elinympäristöjä (ns. SCI-tai SPA-alueet). Arviointi tehdään luontotyyppi- ja lajikohtaisesti arvioiden kaivoshankkeen eri toteutusvaihtoehtojen välittömät ja välilliset, lyhyen ja pitkän aikavälin yksittäiset ja yhteisvaikutukset suojeltaviin luontoarvoihin (ml. luontotyyppeihin ja eliöiden kasvu- ja elinoloihin tai niiden pinta-alan vaikuttavat tekijät) ja Natura-alueen eheyteen (ts. alueen ekologisen rakenteen ja toiminnan elinkelpoisuuteen) eri elinkaaren vaiheissa (esim. EC 2001, Söderman 2003). Lisäksi kuvataan toimet haitallisten vaikutusten ehkäisemiseksi tai vähentämiseksi ja esitetään menetelmät vaikutusten seurannan järjestämisestä. Keskeistä on arvioida vaikutusten merkittävyyttä. Arviointi kohdistetaan tavallisesti sille osalle Natura-aluetta, johon kaivoksen vaikutusalue ulottuu.

Natura-arvioinnin pohjaksi Natura-alueesta tehdään kasvillisuus- ja luontotyyppikartoitukset sekä linnustoselvitys tai käytetään olemassa olevia kartoitustietoja. Arvioinnissa tarvitaan lisäksi perustilaselvityksessä ja ympäristövaikutusten arvioinnissa tuotettuja tietoja alueen ympäristön tilasta sekä kaivostoimintojen vaikutusten laadusta ja laajuudesta (esim. melu- ja pölymallinnuksen tulokset).

Kaivoshankkeiden Natura-arvioinnissa tyypillisesti arvioitavia vaikutuksia voivat olla esim.

- kaivosalueen kokonaisvaltaisen muuttumisen ja kaivostoimintojen (louhosalue, teollisuusalue, kaivannaisjätteiden läjitysalueet) sijoittumisen vaikutus lajeihin ja niiden elinympäristöihin
- louhosalueen kuivanapitopumppauksen sekä muiden vesienohjausjärjestelyjen vaikutus alueen pohja- ja pintavesien pinnan korkeuksiin (esim. vesialueiden kuivuminen, muutokset virtaamissa tai virtaussuunnissa) ja sitä kautta lajien elinympäristöihin
 - kartiotarkastelu; maa- ja kallioperän hydrogeologia ja ruhjetulkinnat
- ilmapäästöjen vaikutusten arviointi
 - louhimisesta, murskaamisesta, kiviaineksen kuljetuksesta, liikenteestä, sekä maamassojen siirtämisestä ja varastoinnista (sivukivet, maanpoistomassat, malmin välivarastot, rikastushiekka-alueet) aiheutuvan pölyämisen (suorat ja epäsuorat) vaikutukset lajeihin ja elinympäristöihin (pölyn leviämisen ja laadun arvioiminen)
 - liikenteen ja työkonoiden kaasumaisten päästöjen (SO_2 , NO_2) vaikutukset lajeihin ja elinympäristöihin (kaasujen laatu ja leviäminen)
 - malmiprosessoinnin ilmapäästöjen vaikutus lajeihin (kaasujen laatu ja leviäminen)
- kaivosalueen valumavesien, sivukivi- ja rikastushiekka-alueiden suoto- ja valumavesien, vesivaraston ja louhoksen ylitevesien vaikutukset lajien elinympäristöihin
 - vesien laatu ja määrät
- rakentamisen ja toiminnan aikaisen melun häiriövaikutukset Natura-lajeihin
- lisääntyvän liikenteen ja infrastruktuurin vaikutukset;
 - rakennettavan infrastruktuurin (kuljetusyhteydet, voimalinjat) alle ja läheisyyteen jäävät alueet
 - päästöt ja melu
- kaivoshankkeen rakentamisen ja toiminnan suorat häiriövaikutukset linnustoon.

Natura-arvioinnin laajuuteen ja tarkkuuteen vaikuttavat mm. kaivostoiminnan suuruusluokka ja luonne, Natura-alueiden etäisyys kaivoshankkeesta sekä Natura-alueen suojeluperusteiden ominaisuudet ja arvo (vrt. taulukko 26 ja Söderman 2003). Natura-tarvearvion ja -arvioinnin sisältöä on kuvattu mm. Euroopan komission laatimassa ohjeessa (EC 2001) ja Södermanin (2003) kokoamassa oppaassa. Liitteessä 5 on esitetty esimerkki Natura-arvioinnin sisällöstä.

Kaivostoimintaan liittyviä Natura-arviointeja on viime vuosina tehty esim. Kevitsan monimetallikaivoshankkeessa, Soklin fosforikaivoshankkeessa sekä Vaaralammen vuolukivihankkeessa (Taulukko 26). Kevitsan ja Soklin hankkeissa Natura-arviointi tehtiin ympäristöluvan hakemista varten YVA-menettelyn kanssa samanaikaisesti, mutta erillisinä selvityksinä (Jokimäki & Hamari 2007, Ylitulkkila *et al.* 2009). Vuolukivihankkeessa arviointi laadittiin kaivospiirihakemusta varten.

Taulukko 26. Esimerkkejä kaivoshankkeissa tehdyistä Natura-arvioinneista.

	Kevitsan monimetallikaivoshanke	Soklin fosforikaivoshanke	Vaaralammen vuolukivikaivoshanke
Natura-arvioinnin vaihe	Erillisenä YVA-menettelyn yhteydessä ympäristölupaa varten	Erillisenä YVA-menettelyn yhteydessä ympäristölupaa varten	Kaivospiirin hakeminen
Etäisyys Natura-alueesta / alueista	Osa Natura-alueesta kaivoksen vaikutusalueella (> 0,5 km etäisyydellä); osa tieliikennevaihtoehtoista kulki toisen Natura-alueen tieyhteyksiä pitkin	Neljä Natura-aluetta kaivoshankkeen vaikutusalueella	Osa Natura-alueesta suunnitellulla kaivospiirialueella
Tehdyt selvitykset	YVA-menettelyä varten tehdyt selvitykset ja Natura-arviointia varten tehdyt lisäselvitykset: <ul style="list-style-type: none"> – kasvillisuusselvitys ml. luontotyyppikartoitus, – linnustonselvitys, – kalastotutkimuksia, – liikenneselvitys, ja – vesistö- ja maaperä-tutkimuksia. 	YVA-menettelyä varten tehdyt selvitykset ja Natura-arviointia varten tehdyt lisäselvitykset: <ul style="list-style-type: none"> – luontotyyppi-inventoinnit – kasvilajien esiintymätiedot – kartta- ja ilmakuva-aineistot – olemassa olevat kasvillisuus- ja luontonselvitykset, – geologiset ja limnologiset selvitykset hankkeen vaikutuksista pinta- ja pohjavesiin, sekä – pöly- ja meluvaikutusten mallinnukset. 	Olemassa olevat selvitykset: <ul style="list-style-type: none"> – luontotyyppi- ja kasvilisusinventoinnit, – lajikohtaiset tiedot mm. ekologiasta, – alueen perustilaselvitys, ja – turvetutkimukset ja suoalueiden määrittely.
Arvioinnin toteutus	Vaikutukset arvioitiin Natura-alueiden suojeltuihin luontotyypeihin ennen ja jälkeen vaikutusten vähentämiseksi suunniteltuja toimenpiteitä.	Hankkeen suorat ja välilliset vaikutukset arvioitiin Natura-alueiden suojeluperusteisiin hankkeen eri elinkaaren aikaisten toimintojen suhteen YVA-menettelyssä kuvattujen toteutusvaihtoehtojen osalta. Arviointi sisälsi kuvauksen vaikutuksia lieventävistä toimenpiteistä sekä arvion vaikutuksista ennen ja jälkeen lievennystoimia.	Hankkeen välittömien ja välillisten vaikutusten arviointi Natura-alueen suojeluperusteisiin toiminnan elinkaaren eri vaiheissa.
ELY-keskuksen lausunto	Lisäselvityksiä edellytettiin ennen ympäristölupakäsittelyä mm. <ul style="list-style-type: none"> – kasvillisuusinventointeihin, – melututkimuksiin, – ilmapäästöjen mallintamiseen, ja – luontotyypeihin kohdistuviin vaikutuksiin. 	Ympäristökeskus piti arviointia joidenkin toteutusvaihtoehtojen osalta riittävänä, mutta arviointiin kaivattiin täydennystä mm. <ul style="list-style-type: none"> – vaikutusten ja niiden merkittävyyden arvioimiseen, ja – vaikutusalueen määrittelyyn. <p>Joidenkin toteutusvaihtoehtojen vaikutukset olivat arvioitu riittämättömästi ja niiden osalta Natura-arviointia tuli täydentää.</p> <p>Osan toteutusvaihtoehtoista katsottiin merkittävästi heikentävän Natura-alueiden suojelutavoitteita, ja niiltä osin lupaa ei lausunnon mukaan tullut myöntää hankkeelle.</p>	Ympäristökeskus katsoi, ettei Natura-alueelle kohdistuva luontoarvojen heikentyminen ole merkittävää.
Viitteet	Jokimäki & Hamari 2007 Lapin ympäristökeskus 2007	Ylitulkkila <i>et al.</i> 2009 Lapin ympäristökeskus 2009	Nikkarinen 2004 Itä-Suomen ympäristölupavirasto 2007

Ympäristöriskinarviointi

Riskinarviointi on prosessi, jossa tunnistetaan tietty vaara ja määritetään todennäköisyys sen toteutumiselle. Vaaran suuruutta kuvaa haitta-vaikutuksen vakavuus. Riskinarvioinnissa pyritään ennustamaan tieteellisten menetelmien pohjalta tulevaisuudessa ilmeneviä haittoja. Menettelyn merkittävin hyöty on, että riskien hallintatoimet voidaan kohdistaa tutkittuun (mallinnettuun) tietoon pohjautuen. Epävarmuuden vallitessa ja ilman riskinarviointia riskien hallinnointi toteutetaan varovaisuusperiaatteen mukaan, jolloin hallintatoimet voidaan suunnata väärin suhteessa todelliseen haittaan.

Nykymallin mukainen integroitu ympäristöriskinarviointi käsittää sekä terveysriskien että ekologisten riskien arvioinnin (esim. Nikkarinen *et al.* 2008). Kemiallisten aineiden terveysriskinarviointi sisältää perinteisesti seuraavat osiot: 1) vaaran tunnistaminen (hazard assessment), 2) annos-vasteen kuvaus (dose-response), 3) altistumisen arviointi (exposure assessment) ja 4) riskinluonnehdinta (risk characterisation). Näistä kaksi ensimmäistä kuvaavat aineen/altisteen ominaisuuksia, altistumisen arviointi tilannetta, jonka suhteen riskiä arvioidaan, ja riskinluonnehdinta kuvaa varsinaisen riskin (suuruuden). Vastaavaa menettelyä hyödynnetään myös muiden altisteiden riskinarvioinnissa.

Ekologisessa riskinarvioinnissa (ERA) haitta on eliön kannalta negatiivinen tapahtuma, joka johtaa eliön elinkelpoisuuden vähenemiseen. Ekologiset riskit voivat ilmetä eri tasoilla (solu-eliö-populaatio-yhteisö-ekosysteemi), mutta riskinarvioinnissa mielenkiinnon kohteena ovat yleisesti laajat, koko ekosysteemin rakenteeseen ja toimintaan kohdistuvat haitalliset vaikutukset. Käytännössä ERA:ssa keskitytään ekotoksikologisiin vaikutuksiin, jotka ovat yleensä helpommin arvioitavissa kuin ekologiset vaikutukset.

Kaivostoiminnassa ympäristöriskinarviointi voi tulla ajankohtaiseksi ja tarpeelliseksi missä tahansa toiminnan elinkaaren vaiheessa. Riskinarviointia voidaan käyttää esimerkiksi ympäristövaikutusten arvioinnin tai kaivossuunnittelun yhteydessä riskinhallintatoimien kohdistamisessa. Kaivostoiminnan ympäristöriskinarvioinnin menettelyksi ei toistaiseksi ole vakiintunutta käytäntöä, ja riskinarvioinnissa tarvittava taso ja laajuus määritelläänkin yleensä kohdekohtaisesti. Riskien kartoitus on hyvä tehdä kaikissa kohteissa vaarakohteiden tunnistamiseksi ja riskien hallintatarpeen alustavaksi arvioimiseksi.

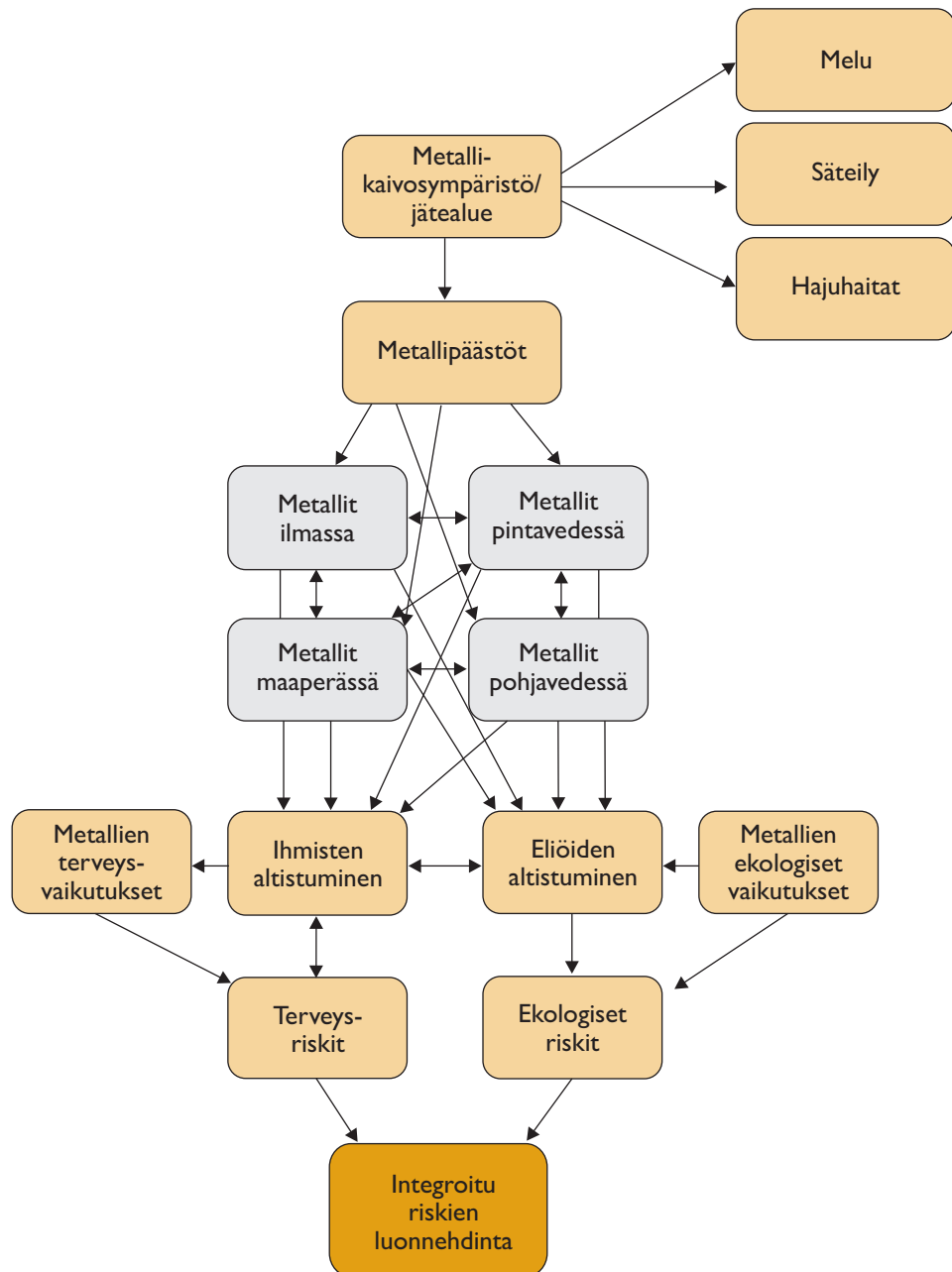
Riskien kartoittaminen ja karkean tason riskiluokittelu voidaan tehdä esimerkiksi seuraavilla menetelmillä:

- potentiaalisten ongelmien analyysi (vaarat tunnistetaan ja luokitellaan ideoiden hakumenetelmällä aivoriihityyppisenä ryhmätyönä)
- systemaattinen syy-seuraussuhde analyysi (kustakin toiminnasta ja päästölähteestä tehdään oma prosessikaavio, jonka pohjalta arvioidaan haitallisen aineen mahdollinen kulkeutuminen ja altistusskenaario)
- poikkeamatarkastelu (tarkastelussa etsitään kuviteltavissa olevat poikkeustilan- teet, jotka voivat aiheuttaa muutoksia normaalisuureisiin).

Eri menetelmiä on kuvattu tarkemmin mm. Kaivoksen sulkemisen käsikirjassa (Heikkinen *et al.* 2005).

Kaivoshankkeissa etenkin poikkeustilanteissa ympäristölle onnettomuusvaaraa aiheuttavia riskikohteita voivat olla esimerkiksi:

- jätealaiden patorakenteet
- rikastus- ja kasaliuotuskasojen pohjarakenteet
- tarvekemikaalien säilytyspaikat
- pölyämislaitteet rikastushiekka- ja sivukivikasat.



Kuva 25. Esimerkki kaivosympäristön yleisen tason käsitteellisestä integroidusta riskimallista.

Normaalitilanteen kohteellinen riskinarviointi toteutetaan yleensä vaiheittain siirtyen tarpeen mukaan karkean tason arvioinnista yksityiskohtaisempaan arviointiin. Arviointi aloitetaan kokonaistilanteen hahmottamisesta ja ongelman määrittelystä. Ongelman määrittelyä varten koetaan kohteesta saatavilla oleva tieto. Seuraavaksi määritellään arvioinnin rajaukset, kuten alue, ajanjakso ja arvioitavat riskit. Määrittelyn tueksi laaditaan käsitteellinen riskinarvioinnin kokonaismalli, jolla kuvataan yhteyksiä vaaran aiheuttajasta altistuksen kautta altistuvaan kohteeseen (Kuva 25). Kokonaismallissa vaaran ja ympäristöpitoisuuksien syntyyn liittyvät tekijät ovat yhteisiä ekologiselle ja terveysriskinarvioinnille. Kohdearviointiin sisältyvät yleensä seuraavat työvaiheet:

- Tiedon keruu alueesta
 - historiatiedot, kartat, kuormittavat aineet

- Mittaustiedon keruu alueelta
 - päästöt, maaperä, pohja- ja pintavesi, eliöstö
- Kriittisten aineiden valinta
 - ominaisuus ja pitoisuustiedot
- Kriittisten aineiden kulkeutumisen arviointi
 - ympäristöolosuhteet ja aineiden mobiilisuus
- Altistuksen arviointi
 - altistusreittien ja altistuskohdeiden valinta
- Vaikutusten arviointi
 - annos-vaste-yhteys
- Riskin luonnehdinta
 - riskin kuvaus ja todennäköisyys.

Kokonaismalli voidaan laatia kaivostoiminnan elinkaaren eri vaiheissa, kuten toiminnan suunnittelun, kaivostoiminnan sekä kaivoksen sulkemisen ja jälkihoidon aikana.

Käsitteellisestä mallista voidaan tarvittaessa edetä laskennalliseen malliin, jolla tuotetaan numeerista tietoa haitta-aineen kulkeutumisesta päästölähteestä väliaineen kautta kohde-eliöstöön tai -ihmiseen. Malliin valitaan kohdekohtaisesti relevantit altisteet ja elementit. Muuttujien määrittelyn on suositeltavaa sisältää laskentamallissa kolme osaa: kausaliteetti (causality), tiedot (data) ja laskentakaavat (formula). Laskentamallin tuotoksena saadaan altistumistasoista arvio, jonka perusteella tehdään riskinarvio. Arviossa saatua pitoisuutta verrataan yleensä haitattomaksi oletettuun pitoisuuteen tai annokseen. Vertailu osoittaa toteutuvan altistumisen ja vaaraa aiheuttavan pitoisuuden tai annoksen välille jäävän turvamarginaalin suuruuden. Kaivoshankkeissa laskennallisen riskinarvioinnin pohjana voidaan käyttää esimerkiksi FINMERAC-hankkeessa (Nikkarinen *et al.* 2008) kehitettyä integroitua metallipäästöjen kohdekohtaista riskinarvioinnin kokonaismallia.

Kaivostoiminnassa keskeisiä haitta-aineita ovat metallit. Metallien riskinarvioinnin menetelmäkehitystä on tehty viime vuosina laajasti EU:ssa mm. MERAG- ja HERAG-projekteissa (ICMM 2007, EBRC 2008).

Hyvän riskinarvioinnin ominaisuuksia ovat:

- Selkeät tavoitteet ja raja
- Läpinäkyvyys ja vertailukelpoisuus
- Ymmärrettävyys ja informatiivisuus
- Sidosryhmien sitouttaminen ja heidän näkemystensä huomioiminen
- Alkuperäisaineiston saatavuus
- Prosessin reiluus
- Loppukäyttäjän hyväksyttävissä olevat lähtökohdat ja -oletukset.

5.2.4

Nykytilaselvitys

Nykytilaselvityksiä tehdään yleisesti toiminnassa olevilla ja suljetuilla kaivosalueilla. Nykytilaselvityksen tavoitteena on kartoittaa toiminnan nykyhetken mukaiset, toteutuneet ympäristövaikutukset, ja selvittää vaikutusten syitä ympäristöön kohdistuvan kuormituksen vähentämiseksi. Ympäristövaikutusten laadun ja laajuuden arvioimiseksi nykytilaselvityksen tuloksia verrataan perustilaselvitykseen ja alueelta kerättyihin seurantatietoihin.

Nykytilaselvityksen sisältö ja tehtävät tutkimukset määräytyvät tapauskohtaisesti riippuen selvityksen tavoitteista. Selvitys voidaan tehdä joko kokonaisvaltaisena yleiskatsauksena kattaen koko kaivosalueen, tai kohdistuen tietyn ympäristövaikutuksen tutkimiseen ja vähentämiseen. Toiminnassa olevilla kaivoksilla ja vanhoilla

kaivosalueilla nykytilaselvitys laaditaan yleensä alueen kunnostuksen sekä jälkihoidon ja/tai toiminnan laajennuksen suunnittelun ja seurannan pohjaksi. Sekä suljetuilla että toiminnassa olevilla kaivoksilla nykytilaselvityksiä on laadittu usein esimerkiksi rikastushiekka-alueiden ympäristökuormituksen selvittämiseksi ja vähentämiseksi.

Nykytilaselvityksiä tehdään myös malminetsintätoimien lopettamisen yhteydessä, erityisesti jos etsinnän aikana on tehty laajamittaisempaa maanpoistoa tai louhintaa. Tällöin tavoitteena on selvittää, onko etsintätoimilla ollut merkittävää vaikutusta alueen ympäristöön, ja millaisia mahdolliset ympäristövaikutukset ovat olleet.

Nykytilaselvityksen sisältöön ja laajuuteen vaikuttaa myös käytettävissä olevan perustilaselvityksen laatu ja laajuus. Pitkään toiminnassa olleilla tai suljetuilla kaivoksilla perustilaselvityksen sisältö voi olla puutteellinen tai se voi puuttua kokonaan. Tällöin nykytilaselvityksessä tarvitaan yleensä laajempia tutkimuksia. Esimerkiksi vanhoilla kaivosalueilla, joilla on havaittu pohjavesien pilaantumista, on usein tarpeen selvittää perusteellisemmin maaperän kerrosjärjestystä ja hydrologiaa pilaantumisen syiden ja kulkeutumisreittien tutkimiseksi.

Nykytilaselvitykset voivat sisältää esim. seuraavanlaisia tutkimuksia:

- Pinta- ja pohjavesi- sekä maaperävaikutusten kartoitus
- Alueen maaperän kerrosjärjestys ja hydrologia
- Jätealueiden fysikaalinen ja kemiallinen nykytilakartoitus (suotovedet, kemiallinen muutunta)
- Vesien keräysjärjestelmän ja puhdistuksen toimivuuden nykytilan kartoitus
- Melun leviämistutkimukset
- Pölyn leviämistutkimukset (ml. sammaltutkimukset)
- Luontoselvitykset
- Vesistötutkimukset
- Sedimenttitutkimukset
- Sivumateriaalien hyödyntämistutkimukset.

5.3

Vesipäästöjen laadun ja puhdistustarpeen arviointi

Kaivoksen toimintavaiheessa voi aiheutua päästöjä pinta- tai pohjavesiin erityisesti louhoksen kuivanapitopumppausvesistä, rikastusprosessista sekä rikastushiekan ja sivukiven varastoinnista (suotovedet, selkeytysaltaan vesi). Vesipäästöjen laadun ja määrän selvittäminen ennen toiminnan alkua on yksi keskeisimpiä asioita toiminnan ympäristövaikutusten arvioinnissa ja vaikutusten vähentämistekniikoiden suunnittelussa. Selvitysprosessi etenee karkeasti seuraavasti:

1. Eri päästölähteiden tunnistaminen ja karakterisointi (haitta-aineet),
2. Arvio esiintyvistä haitta-aineista ja niiden liukenemisesta veteen,
3. Laskennalliset arviot haitta-aineiden pitoisuuksista ja kulkeutumisesta vastaanottaviin vesistöihin (veden laatu, vesimäärät, virtaussuunnat, pitoisuudet suhteutettuna paikallisiin virtaamiin),
4. Puhdistustarpeen arviointi vertaamalla laskennallisia pitoisuuksia vastaanot-tavan vesistön laatuluokitukseen, minimiravannesuhteisiin ja/tai vesieliöiden ekotoksikologisiin tietoihin (altistuvat eliöt) sekä talousveden laatuunormeihin. Lisäksi tulee huomioida myös vastaanottavien vesistöjen sietokyky.

Vesipäästöjen laadun arvioinnin lähtökohtana on päästölähteiden tunnistaminen ja karakterisointi, erityisesti niihin liittyvien haitta-aineiden osalta. Käytännössä tämä edellyttää malmiesiintymän ja muodostuvien kaivannaisjätteiden (sivukivet, rikastushiekka, sakat) kemiallista ja mineralogista karakterisointia (vrt. luku 5.4.2) sekä

rikastus- ja louhintaprosessin ja niissä käytettävien kemikaalien (räjähdysaineet, rikastuskemikaalit, polttoaineet) kuvausta (ks. luku 2.3). Malmin ja kaivannaisjätteiden sisältämät mahdolliset haitta-aineet voidaan tunnistaa määrittämällä alkuaineiden kokonaispitoisuudet. Ennen toiminnan alkua sivukivistä otetaan näytteet esiintymän inventointikairausten yhteydessä ja selvitetään eri pääkivilajien suhteet esiintymässä. Karakterisoinnissa tulee kattaa kaikki muodostuvat sivukivijakeet. Rikastushiekan koostumusta selvitetään puolestaan rikastuskokeiden yhteydessä. Louhosvesien laadun arvioinnissa tulee malmiesiintymän ohella huomioida myös räjähdysaineiden ja polttoaineiden käytöstä sekä mahdollisesta kaivostäytöstä aiheutuvat päästöt. Vastaavasti sivukivistä aiheutuvien päästöjen arvioinnissa tulee huomioida räjähdysainejäämät ja rikastushiekan osalta rikastuskemikaalien jäämät. Käytettävien kemikaalien koostumustiedot saadaan esim. käyttöturvallisuustiedotteista tai tarvittaessa erillisillä kemian analyysillä. Metallikaivostoiminnan vesipäästöihin liittyvät haitta-aineet ovat tyypillisesti metalleja (esim. Cr, Cu, Pb, Mo, Ni, Zn, V, U, Fe, Al), puolimetalleja (As, Sb), suoloja (esim. sulfaatit, kloridit, syanidit), ravinteita (esim. typpiyhdisteet) ja/tai orgaanisia yhdisteitä (esim. kantaatit, mineraaliöljyt). Lisäksi metallikaivostoiminnan vedet sisältävät runsaasti maa-alkali- ja alkalimetalleja (esim. Ca, Mg, Na, K) ja etenkin louhosvedet ja kaivannaisjätteiden valumavedet ovat usein happamia. Louhos- ja prosessivedet voivat myös sisältää huomattavia määriä kiintoainetta.

Valumavesien laadun arviointiin/simulointiin ennen kaivostoiminnan alkua on käytettävissä useita eri menetelmiä. Happamien valumavesien muodostumispotentiaalia arvioidaan tyypillisesti staattisilla ja kineettisillä testeillä (ks. Liite 6). Haitta-aineiden liukenemista sivukivistä ja rikastushiekoista arvioidaan myös erillisuuttojen ja liukoisuustutkimusten, mineralogisen koostumuksen ja mineraalien rapautumistietojen, rikastuskokeiden yhteydessä otettujen vesianalyysien sekä geokemiallisen mallinnuksen perusteella (ks. INAP 2009). Lisäksi vertailutietoa toiminnan vesipäästöistä saadaan toiminnassa olevilta tai suljetuilta kaivosalueilta (kemikaalien ja polttoaineiden käyttömäärät, veden laadun seurantatiedot). Esimerkiksi räjähdysaineiden vaikutusta louhoksen kuivanapitopumppausvesien laatuun voidaan arvioida toiminnassa olevien kaivosten räjähdysaineiden käytön ja kaivosveden laadun seurantatietojen perusteella. Kuivanapitopumppausveden sekä sivukivien ja rikastushiekan varastointialueiden suotovesien laadusta saadaan puolestaan vertailutietoa saman malmityypin kaivoksilta, joissa malmi on käsitelty ja prosessoitu malmityypille soveltuvilla menetelmillä (vrt. Plumlee 1999). Perustilaselvityksessä kerätyt tiedot vesien laadusta voivat myös antaa pohjatietoa toiminnan vesipäästöistä, jos alueella esiintyy luontaista kallioperästä aiheutuvaa kuormitusta vesiin.

Vesipäästöjen laatutiedoista lasketaan kuormitus haitta-aineittain päästölähteissä muodostuviksi arvioitavia vesimääriä (mm. kuivanapitopumppausvedet, juoksutusvedet) kohden ja suhteutetaan ne purku- ja kulkeutumiskanavan sekä vastaanottavan vesistön vesimääriin, veden laatuun sekä sietokykyyn. Esimerkiksi louhoksen kuivanapitovesien määrää voidaan arvioida matemaattisilla malleilla, esim. ns. kaivoyhtälöiden perusteella, tai muilta kaivoksilta kerättyjen kokemusten perusteella. Laskennassa tarvitaan kohdekohtaista tietoa sekä pinta- ja pohjavesien osalta mm. vesien valuma-/muodostumisalueista, vesipinnoista, vesitaseista, virtaamista ja virtaussuunnista, alkuperäisestä veden laadusta sekä paikallisista ilmasto-oloista (erityisesti sadanta ja sulamisvesien määrä). Lisäksi tarvitaan tietoa päästölähteiden (rikastushiekka, sivukivet, louhostilat) hydrologisista ominaisuuksista ja mittasuhteista. Kuormituksen laskenta tehdään yksinkertaisimmillaan ns. laimenemiskerroinlaskentana, joka ei ota huomioon haitta-aineiden mahdollista pidättymistä ja/tai uudelleen mobilisoitumista. Laskennassa voidaan käyttää myös monimutkaisempia matemaattisia malleja, kuten virtaus- ja kulkeutumismalleja,

joista jälkimmäisillä voidaan simuloida myös haitta-aineiden reaktioita kulkeutumisreittein varrella. Arvioinnin tulisi kattaa myös vuodenaikais-/vuotuiset vaihtelut vesien määrissä ja laadussa.

Kaivostoiminnan päästöistä vesiin ei saisi aiheutua sellaisia haitta-ainepitoisuuksien kasvua tai veden happamuuden tai muiden ominaisuuksien muutoksia, jotka heikentävät merkittävästi vesistön tilaa purkupisteen alapuolella. Suomessa on valtioneuvoston asetuksella vesiympäristölle vaarallisista ja haitallisista aineista (1022/2006), erityisesti sen muutoksella 868/2010, asetettu ympäristölaatunormit, joihin todellisia aiheutuvia pitoisuuksia voidaan verrata. Ympäristölaatunormit koskevat toksisten orgaanisten yhdisteiden lisäksi elohopean, kadmiumin, lyijyn ja nikkelin pitoisuuksia sekä niiden yhdisteitä (868/2010, Liite 1). Mainittujen metallien suurin sallittu pitoisuus järvivedessä on määritetty asetuksen liitteessä ekotoksisuustestituloksiin perustuvan ympäristölaatunormin ja luontaisen taustapitoisuuden summana (EQS, ks. Verta *et al.* 2010). Laatusuhteet (liukoiset pitoisuudet) ovat: kadmiumille 0,1 µg/l, nikkelille 21 µg/l, lyijylle vähähumuksisessa järvessä 7,3 µg/l, humuksisessa järvessä 7,4 µg/l, runsashumuksisessa järvessä 7,5 µg/l, kangas- ja savimaiden joissa 7,5 µg/l, turvemaiden joissa 7,7 µg/l, elohopealle vastaavasti 0,20 µg/l, 0,22 µg/l, 0,25 µg/l, 0,20 µg/l ja 0,25 µg/l (868/2010, Liite 1). Kohteissa, joissa pitoisuudet ovat geologisista syistä korkeita, voidaan asetuksen (868/2010) Liitteen 1 asiantuntija-arviolla poiketa asetuksen laatusuhteen määrittelyssä käytetystä taustapitoisuuksien arvoista (ks. myös Verta *et al.* 2010).

Vesiekosysteemille haitattomat pitoisuustasot ovat joissain tapauksissa huomattavasti alhaisemmat kuin taso, jolle parhaan käyttökelpoisen tekniikan mukaisilla puhdistuslaitteilla tai -menetelmillä päästään. Esimerkiksi kun nikkelinpäästöjä pienennetään parasta käyttökelpoista puhdistustekniikkaa käyttäen, jää käsitellyn veden nikkelipitoisuus yleensä tasolle, joka on huomattavasti korkeampi kuin ympäristölaatusuhteet. Tällöin ympäristöluvassa voidaan toiminnanharjoittajan hakemuksesta määrätä em. asetuksen (1022/2006) 6b §:n mukaisesta sekoittumisvyöhykkeestä, jolla yhden tai useamman asetuksen liitteissä tarkoitetun aineen pitoisuus voi ylittää mainitussa kohdassa esitetyn ympäristölaatusuhteen, jos muu osa pintavesimuodostumasta on kyseisten normien mukainen. Sekoittumisvyöhykkeen laajuus on rajattava ympäristöluvassa päästölähteen läheisyyteen siten, että se on oikeassa suhteessa pilaavien aineiden pitoisuuksiin päästölähteen kohdalla ja että noudatetaan ympäristön pilaantumisen vaaraa aiheuttavaan toimintaan sovellettavia ympäristönsuojelulain 4 §:n mukaisia yleisiä periaatteita (mm. varovaisuusperiaate, parhaan käyttökelpoisen tekniikan periaate).

Talovesin laatusuhteissa (STM 461/2000) on esitetty pitoisuusrajat metalleista mm. antimonille, arseenille, kromille, kuparille, lyijylle ja nikkelille. Laatusuhteet on tehty talovesikäyttöä varten, eikä se sinänsä kuvaa suoraan vesistössä hyväksyttäviä pitoisuuksia. Esimerkiksi kuparille annettu kemiallinen laatusuhteet 2 mg/l aiheuttaa jo monille vesielioille haitallisia vaikutuksia. Ympäristöluvan hakijan tulisi selvittää kirjallisuustietojen perusteella kaikkien toiminnasta vesiin johdettavien haitta-aineiden pitoisuustasot, joilla haitallisia vaikutuksia vesistössä ei enää aiheudu. Selvittettäviä aineita kaivostoiminnassa ovat mm. metallit, puolimetallit, sulfaatti, tiosulfaatti, ravinteet, pH, rikastuskemikaalit ja niiden jäämät sekä kiintoaine.

Kaivostoiminnasta aiheutuva typen kuormitus on usein niin suurta, että purkupisteen alapuolella on jatkuvasti käytettävissä ylimäärin typpeä perustuotantoon. Tämä voi aiheuttaa purkupisteen alapuolella mm. leväntuotannon lisääntymistä ja siihen liittyviä haittoja. Selkeimmin vaikutukset näkyvät alueilla, joissa vesistön tuotantoa rajoittavana minimiravinteena on alun perin ollut typpi.

Metallimalmikaivostoiminnan kaivannaisjätteisiin liittyvät ympäristöselvitykset

Kaivannaisjätteiden varastointiin liittyvät ympäristöriskit ovat yksi merkittävimpiä riskejä metallikaivostoiminnassa. Alla olevissa kappaleissa on kuvattu tarkemmin niiden hallinnan suunnitteluun ja toteutukseen liittyviä selvityksiä.

5.4.1

Jätehuoltosuunnitelma

Kaivannaisjätteiden hallinnasta laaditaan ennen kaivostoiminnan aloittamista jätehuoltosuunnitelma, joka liitetään ympäristölupahakemukseen. Jätehuoltosuunnitelmassa on keskeistä kuvata sijoituksen toiminnallinen käyttökelpoisuus huomioiden jätteiden ominaisuudet ja ympäristövaikutusten ennaltaehkäisy sekä niiden hallinta toiminnan aikana ja myös toiminnan jälkeen (VNA 379/2008, 4 §). Jätehuoltosuunnitelmaan liitetään jätealueiden tarkkailu- ja jälkihoitosuunnitelma. Jätehuoltosuunnitelmaa päivitetään tarvittaessa toiminnan aikana, jos jätteiden hallintaan tulee muutoksia, ja yleisemmin ympäristölupahakemusta uudistettaessa.

Jätehuoltosuunnitelman tulee sisältää esim.:

- kuvaukset toiminnassa syntyvistä kaivannaisjätteistä ja niiden kokonaismäärästä,
- kuvaukset kaivannaisjätteiden ominaisuuksista (jätteiden karakterisointi, ks. luku 5.4.2 ja Liite 6),
- kuvaukset jätealueista (sijainti, topografia), alueen luontaisesta maaperärakenteesta, läjityksen mahdollisista pohja- ja patorakenteista (ks. luku 5.4.3),
- kuvaukset läjitysalueen ympäristön hydrologiasta ja hydrogeologiasta sekä pohja- ja pintavesien tilasta (ks. luku 5.4.3.1),
- kuvaukset jätealueiden potentiaalisista ja/tai todennetuista ympäristövaikutuksista (maaperä, pohjavesi, pintavesi) sekä niiden ehkäisymenetelmistä, kuten esim.
 - kemiallisen muutoksen estäminen/hidastaminen (potentiaalinen hapon muodostus, haitallisten aineiden potentiaalinen liukeneminen),
 - vesien hallintajärjestelmä, ja
 - pölyämisen torjuntasuunnitelma,
- kuvaus jätealueen luokituksesta (suuronnettomuuden vaaraa aiheuttava jätealue tai muu kaivannaisjätealue),
- kuvaus pelastussuunnitelmasta (ennaltaehkäisyn toimenpiteet, turvallisuusjohtamisjärjestelmä), mikäli jätealue luokitellaan suuronnettomuuden vaaraa aiheuttavaksi jätealueeksi,
- selvitykset jätemäärän vähentämismenetelmistä, jätteen hyötykäytöstä ja hyötykäytön kehittämistavoitteista,
- kuvaukset jätealueen ja jätealueelta poistuvien vesien laadun tarkkailusta toiminnan aikana, sekä
- kuvaukset jätealueen sulkemissuunnitelmasta, jälkihoidosta ja sulkemisen jälkeisestä tarkkailusta (jätealueen vakavuus ja vesien laatu).

Alla olevissa kappaleissa on kuvattu tarkemmin kaivannaisjätteiden karakterisoinnin toteutusta, läjitysalueiden maapohjatutkimuksia ja teknisten ratkaisujen valintaa sekä mahdollisia patorakenteita.

Kaivannaisjätteiden karakterisointi

Kaivannaisjätteiden karakterisoinnin keskeinen tavoite on selvittää jätteen sijoitusta, läjitystekniikkaa ja jälkihoitoa ohjaavia geoteknisiä ominaisuuksia ja niitä fysikaalisia ja kemiallisia ominaisuuksia, joilla on merkitystä myös ympäristövaikutusten hallinnassa ja ennaltaehkäisyssä. Ominaisuuksien määrittämistä ja menetelmien valintaa ohjaavat esiintymän geologiset tiedot, joiden mukaan voidaan tehdä ensiarvio sivukiven ja malmin prosessoinnissa syntyvän mineraalisen rikastushiekkajätteen potentiaalisesta haponmuodostus- ja neutralointikyvystä sekä haitallisena pidettävien alkuaineiden esiintymisestä. Ensiarvion perusteella valitaan kullekin jättejakeelle soveltuvat mineralogian määritys- ja kemian analyysimenetelmät. Kuvassa 26 on esitetty kaavio kaivannaisjätteiden karakterisointimenettelystä (ks. myös Liite 6).

Kaivannaisjätteiden määrittelyn lähtökohtana ovat taustatiedot malmiesiintymän geologiasta ja kuvaukset malmin louhinnasta sekä malmin rikastuksesta niiltä osin, mistä eri jättejakeet muodostuvat (VNA 717/2009 Liite 3). Esiintymän geologinen kuvaus sisältää tiedot:

- malmimuodostumasta, malmin isäntäkivilajista/kivilajeista,
- malmiesiintymän malmimineralogiasta,
- hydrotermisestä muuttumisesta, ja
- malmiesiintymää rajaavista kivilajeista eli sivukivistä.

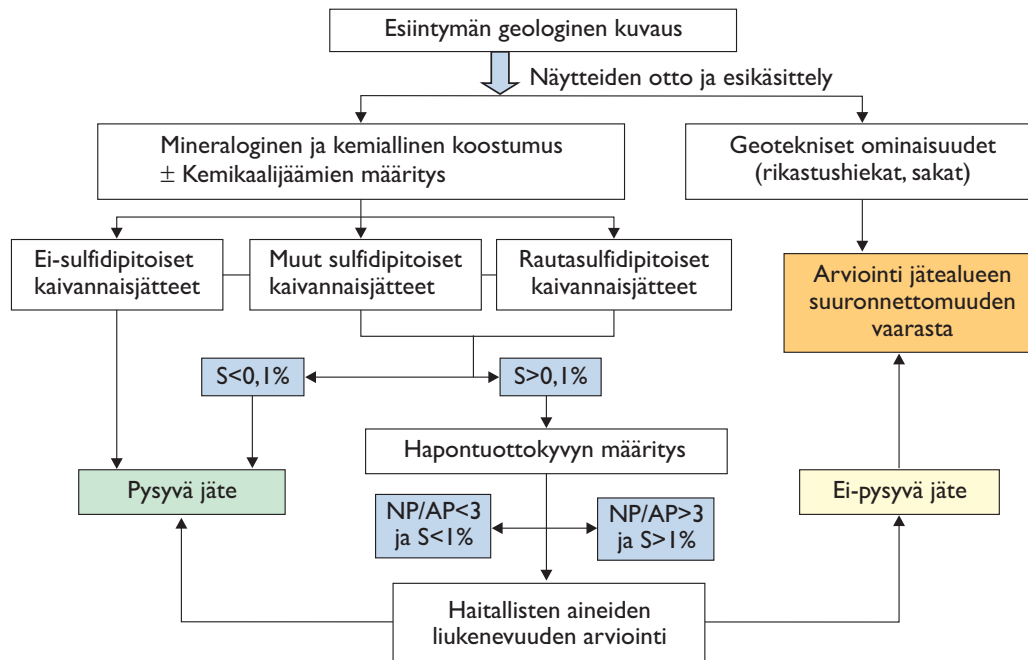
Yleistietoihin liitetään kuvaus louhintamenetelmästä ja louhinnassa syntyvistä sivukivistä (raakuista). Toisena osana toiminnan yleiskuvausta on kuvata malmin rikastusprosessi ja siinä syntyvät jättejakeet.

Kaivannaisjätteiden ominaisuuksien määrittelyn laajuutta ohjaavat malmiesiintymän ja sitä rajaavien sivukivien sulfidimineralogia ja sulfidisen rikin (ja/tai sulfaattisen rikin) runsaus. Sulfidimineraalikoostumuksen perusteella jättejakeet voidaan jakaa kolmeen ryhmään (Kuva 26): ei-sulfidipitoiset jätteet, rautasulfidipitoiset jätteet ja muut sulfidipitoiset jätteet. Kaikkien näiden kaivannaisjättejakeiden peruskarakterisointi sisältää jättemateriaalin mineralogisen ja kemiallisen koostumuksen sekä materiaalin sisältämien kemikaalijäämien määrittämisen (VNA 717/2009 Liite 3).

Jos jäte ei sisällä sulfidista rikkiä tai sen sulfidisen rikin kokonaispitoisuus on alle 0,1 %, eivätkä jätteen haitta-aineiden happoliukoiset pitoisuudet ylitä VNA 214/2007 kynnsarvoja tai alueen ympäristön maaperän taustapitoisuuksia, luokitellaan materiaali pysyväksi jätteeksi (VNA 717/2009 Liite 1, ks myös Luodes *et al.* 2011). Näistä jättejakeista ei tarvitse tehdä hapontuottomääritystä tai muita kemian lisäanalyysyjä, elleivät ne sisällä geologisen alkuperän perusteella rapautumisherkkiä, haitallisia alkuaineita sisältäviä suolamineraaleja tai muita potentiaalisesti haitallisia aineita, joita on jäänyt jättejakeeseen malmin prosessoinnissa. Jätteistä, joiden sulfidisen rikin kokonaispitoisuus ylittää 0,1 %, määritetään lisäksi hapontuottokyky ja neutraloimisominaisuudet (Liite 6). Lisäksi tämän jäteryhmän kivi- ja mineraaliaineista tunnistetaan neutraloivat mineraalit ja niiden määrät (karbonaattimineraalit, Mg-Ca-valtaiset silikaatit).

Kaivannaisjäteasetuksen (VNA 717/2009 Liite 1) mukaan pysyväksi jätteeksi voidaan luokitella myös sulfidipitoinen, haitta-aineita sisältämätön jäte, jossa sulfidisen rikin kokonaispitoisuus on alle 1 % ja jätteen neutralointi- (NP) ja hapontuottopotentiaalien (AP) suhde on yli kolmen. Luokittelu voidaan tehdä myös kansallinen luettelon perusteella. Julkaisussa Luodes *et al.* (2011) on esitetty kansallinen luettelo pysyväksi luokiteltaville Suomesta louhittaville sivukiville. Ei-pysyväksi luokitettujen jätteiden karakterisoinnissa tulee lisäksi määrittää haitta-aineiden liukenevuutta ja happamien valumavesien muodostumismahdollisuutta (VNA 717/2009).

Liitteessä 6 on kuvattu yleisellä tasolla kaivannaisjätteiden karakterisointiin liittyviä näytteenottomenetelmiä ja kemiallisten ja fysikaalisten ominaisuuksien määrittämenetelmiä.



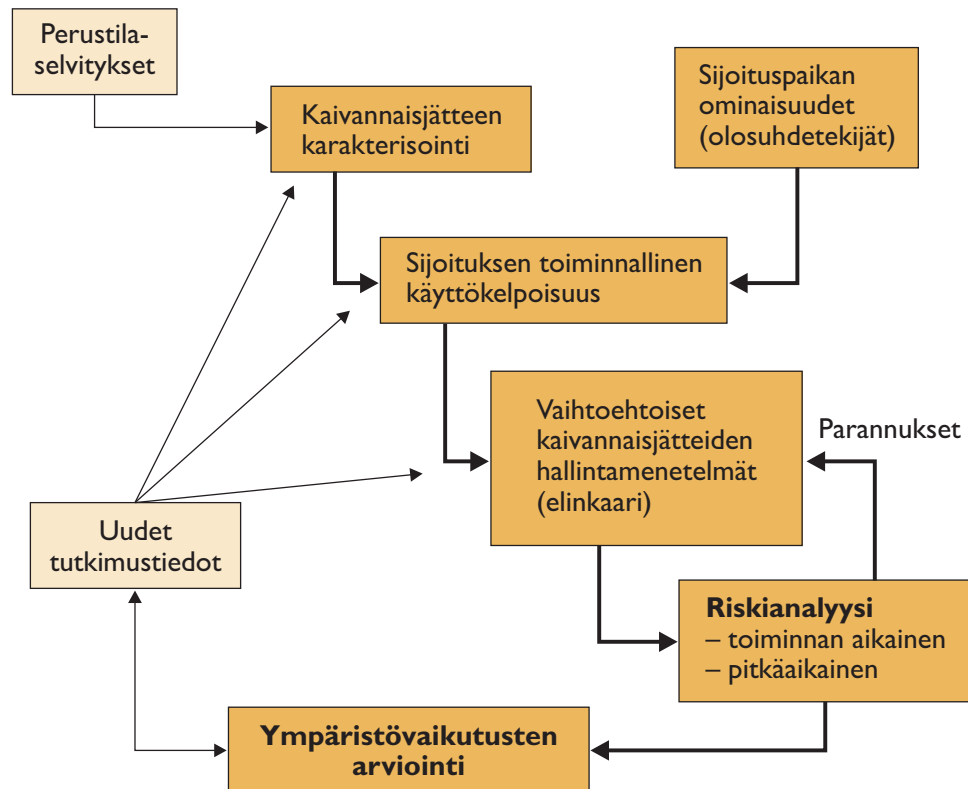
Kuva 26. Kaivannaisjätteiden karakterisointimenettely.

5.4.3

Läjitysalueiden valinta ja suunnittelu

Kaivannaisjätteiden lopulliset sijoituskohteet valitaan perustilaselvityksessä esitetyistä vaihtoehdoista. Sijoituspaikan ja läjitystekniikan valintaa ohjaavat jätteen ominaisuudet ja jäteluokka, sijoituspaikan maaperä- ja hydrogeologiset ominaisuudet sekä sijoituspaikan toiminnallinen käyttökelpoisuus seuraavasti (Kuva 27, mukailtu EC 2009):

- Jätteen hapontuotto- ja neutralointiominaisuudet
- Jätteen sisältämät potentiaaliset haitta-ainepitoisuudet ja liukoisuus lyhyellä ja pitkällä aikavälillä
- Sijoituspaikan ympäristötekijät (turvallisuus, asutuksen läheisyys, luonnon eliöstön suojelutarpeet, muu maankäyttö)
- Läjitysalueen maapohjalle ja pohjarakenteelle asetetut vaatimukset (jäteluokituksen mukaan)
- Maapatojen rakentamistarve
- Potentiaalisten ympäristövaikutusten hallinta ja ennaltaehkäisy (pölyäminen sekä vaikutukset pintaveteen, pohjaveteen ja maaperään/ eliöstöön ja ihmisiin)
 - Ilmastotekijät mm. tulva-alttius ja sademäärän ajoittainen runsaus
 - Tuulisuus ja pölyalttius (topografia, puuston korkeus)
 - Sijoituspaikan ja patorakenteiden routivuus
 - Asutuksen läheisyys
 - Suojelualueiden läheisyys
- Ympäröivän alueen muu maankäyttö
- Jälkihoitovaateet liittyen pitkäaikaisen hapontuoton ehkäisyyn tai minimointiin ja läjitysalueen pitkäaikaiseen turvallisuuteen
- Jätteiden potentiaalinen hyötykäyttö.



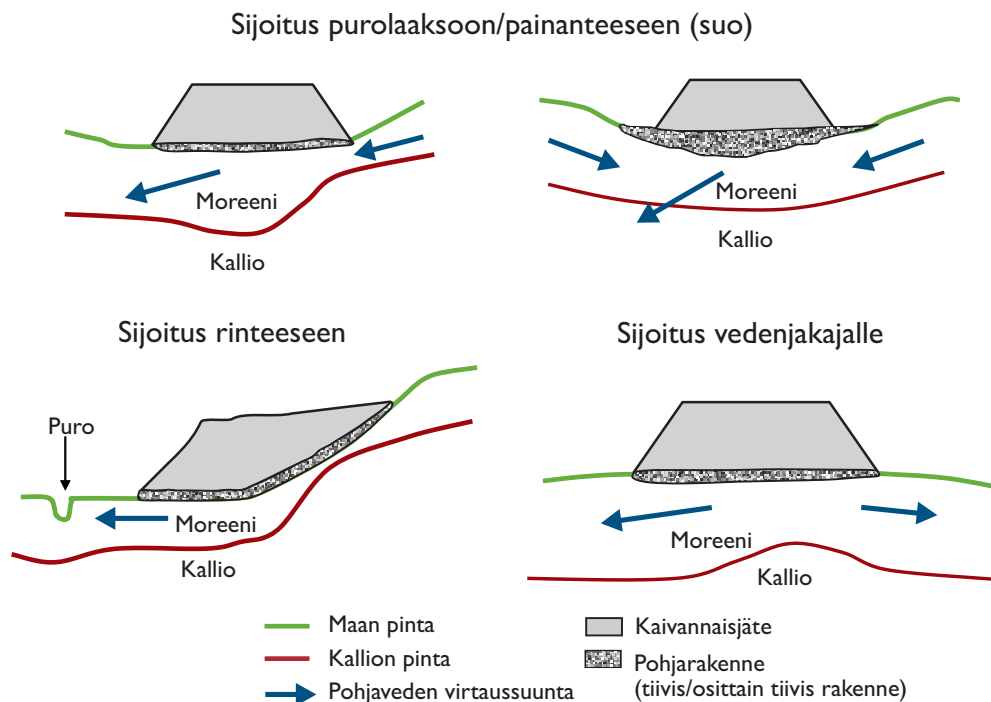
Kuva 27. Läjitysalueen suunnittelu ja paikan valinta (mukailtu EC 2009 mukaan).

Kuvassa 28 on esitetty esimerkkejä läjitysalueen sijainnin vaikutuksesta pohjaveden virtaussuuntaan erilaisilla maapinnan ja kalliopinnan topografia-alueilla. Kalliopinnan topografian ja irtomaan vedenjohtavuus- ja tiivistymisominaisuuksien perusteella voidaan arvioida pohjaveden virtaussuunta ja sen mahdollinen muuttuminen läjityksen aikana ja toiminnan päättymisen jälkeen. Näillä ominaisuuksilla voi olla vaikutusta myös veden suotautumissuuntaan läjityksessä läjitysalueen sulkemisen jälkeen, mutta myös täytön aikana. Toisaalta hydrogeologisten tietojen perusteella voidaan laatia pohjaveden tarkkailusuunnitelma ja ohjata tarkkailua potentiaalisien vuotokohteisiin.

5.4.3.1

Jätealueiden maapohjatutkimukset ja pohjarakenteet

Jätealueiden maapohjatutkimusten tavoitteena on kerätä riittävät maaperätiedot, joiden perusteella kukin jätetyyppi voidaan sijoittaa alueelle, jossa ympäristövaikutukset voidaan minimoida ja hallita (kustannusten minimointi) toiminnan aikana ja myös sen jälkeen. Selvitysten sisältö määräytyy sijoitusalueen laajuuden, jättejakeiden massamäärän ja jäteluokan mukaan (EC 2009). Perustilaselvityksessä esitetään yleensä perustiedot vaihtoehtoisten jätteiden sijoitusalueiden maaperän maalajeista ja muodostumista sekä hydrologiasta (mm. valuma-alueajat, pintavesien virtaussuunnat; vrt. luku 5.1), joiden perusteella voidaan valita eri jätetyypeille soveltuvat sijoituspaikat (Kuva 28). Jätteiden sijoituspaikkojen lisämaaperäselvitykset sisältävät läjitysalueen maapohjatutkimukset ja läjitysalueiden rakenteisiin (pohjarakenne, patorakenteet) soveltuvien maa-ainesten inventointikartoitukset (Sivonen & Frilander 2001, Leskelä 2009). Tutkimusmenetelminä voidaan maaperäkohteen mukaan käyttää geofysiikkaa (maatutkaluotaus, seisminen mittaus) tai tutkimuskaivantoja ja/tai kairauksia.



Kuva 28. Kaivannaisjätteen sijoittamisympäristön kalliopinnan topografian ohjaava vaikutus pohjaveden virtaussuuntaan. Sijoitusalueen maapohja on kantava moreeni kallion päällä. Läjityksen pohjarakenne koostuu vesitiivistä tai osittain vesitiivistä luonnon maa-aineksesta (tiivistynyt turve tai tiivistetty turve) tai geotekstiilistä ja/tai muovikalvorakenteesta.

Läjitysalueen maapohjaselvitykset voivat sisältää esimerkiksi seuraavat tiedot:

- irtomaakerroksen paksuus
- kalliopinnan syvyys ja topografia
- maaperän maalajirakenne (maalajivaihtelu ja eri maalajien kerrospaksuudet)
- pohjaveden pinnan syvyys maanpinnasta (+ arvio syvyyden vuodenaikaisvaihtelusta) ja pohjaveden virtaussuunta
- pinta- ja pohjavesien valuma-alueajat (vedenjakajat)
- maanpinnan topografia ja pintavesien luontaiset virtaussuunnat.

Läjitysalueiden pohjamaan eri maalajeihin ja rakenteisiin käytettävien luonnonmaamateriaalien ominaisuuksiin liittyvät geotekniset tutkimukset sisältävät seuraavia tietoja (Rantamäki *et al.* 1979, Leskelä 1992 ja 2009):

- raekokojakauma, hienoainespitoisuus (<0,06 mm) ja savipitoisuus (<0,002 mm)
 - näytteestä mitattuna; seulonta, hienoaineksesta sedigraf-määrittäminen (tai areometrimäärittäminen)
- vedenläpäisykyky (vertikaali- ja horisontaalivaihtelu koko läjitysalueen pohjamaasta)
 - näytteestä mitattuna
 - kenttämittaus
- kantavuus- / painumisominaisuudet
 - arvio raekokojakauman mukaan (hienoainespitoisuus, kivisyys / karkearakeisen aineksen runsaus)
 - näytteistä mitattu leikkauslujuus / kokoonpuristuvuus (konsolidaatio)
- tiivistymisominaisuudet
 - maalajityypin mukainen arvio (turve, hienorakeinen maalaji / kirjallisuusarvio)
 - näytteestä mitattuna

- routimisominaisuudet
 - arvio raekokojakauman / hienoainespitoisuuden mukaan
 - kenttämittaus tai tiedot alueen routimistilastosta.

Kaivannaisjätteiden läjityspohjana voi olla luonnon maarakenne tai keinotekoinen pohjarakenne kantavan luonnon maapohjan päällä. Pohjarakenteen valinta kytkeytyy patorakenteiden suunnitteluun ja jätealueen vesien hallintajärjestelmän valintaan. Pohjarakenne voi olla joko täysin vesitiivis, heikosti vettä läpäisevä tai vettä läpäisevä riippuen jäteluokasta (Taulukko 27). Vettäläpäisevä pohjarakenne soveltuu vain pysyvien (inerttien) jätteiden tai sivutuotteiden sijoitusalueen pohjarakenteeksi. Ei-pysyvän jätteen pohjarakenteen tiiveys ja paksuus määräytyvät jätteen hapontuotto-

Taulukko 27. Maapohja- ja materiaaliveitohdot erityyppisten kaivannaisjätteiden läjitysalueen pohjarakenteelle. Esimerkit on koottu olemassa olevista läjitysalueista.

Kaivannaisjäte	Luonnon maapohja (kerrosrakenne)	Pohjarakenne (kerrosrakenne)	Pohjarakenteen tiiveys ja paksuus
Sivukivi			
Pysyvä	hiekkamoreeni tai kallio	rajautuu pohjamaahan	vettäläpäisevä (10^{-6} m/s), paksuus 3–10 m
Ei-pysyvä (tavanomainen)	moreeni (ylin) kallio (alin)	tiivistynyt turve ¹⁾ (ylin) tiivistynyt järvilieju (alin) tai tiivistetty turve ²⁾ (ylin)	vesitiivis (10^{-9} – 10^{-12} m/s), paksuus 0,2–0,5 m
Ei-pysyvä (tavanomainen)	moreeni (ylin) kallio (alin)	tasoitettu, neutralointikykyinen kivilouhe	vettäläpäisevä (10^{-3} m/s), paksuus >1 m
Ei-pysyvä (tavanomainen)	hiekkamoreeni (ylin) kallio (alin)	suojakerros (ylin) HDPE-kalvo (1,5 mm) suojakerros (alin)	vesitiivis (10^{-9} – 10^{-15} m/s), paksuus 0,2–0,3 m
Ongelmajäte	moreeni tai turve (ylin) moreeni (alin)	suojakerros (ylin) HDPE-kalvo (1 mm) + betoniittimatto suojakerros (alin)	vesitiivis (10^{-9} – 10^{-15} m/s), paksuus 0,2–0,4 m
Rikastushiekka			
Pysyvä	moreeni	rajautuu pohjamaahan	heikosti vettäläpäisevä (10^{-7} – 10^{-8} m/s), paksuus ≥ 1 m
Ei-pysyvä (tavanomainen)	moreeni (ylin) kallio (alin)	tiivistynyt turve ¹⁾ (ylin) tiivistynyt järvilieju (alin) tai tiivistetty turve ²⁾ (ylin)	vesitiivis (10^{-9} – 10^{-12} m/s), paksuus 0,3–0,8 m
Ei-pysyvä (tavanomainen)	moreeni tai kallio	kumibitumikermi (ylin) suojakerros (alin)	vesitiivis (10^{-9} – 10^{-15} m/s), paksuus 0,2–0,3 m
Ei-pysyvä (tavanomainen)	hiekkamoreeni (ylin) kallio (alin)	suojakerros (ylin) HDPE-kalvo (2 mm) suojakerros (alin)	vesitiivis (10^{-9} – 10^{-15} m/s), paksuus 0,2–0,3 m
Ongelmajäte	moreeni tai turve (ylin) moreeni (alin)	suojakerros (ylin) HDPE-kalvo (2 mm) tai HDPE-kalvo (1 mm) + betoniittimatto suojakerros (alin)	vesitiivis (10^{-9} – 10^{-15} m/s), paksuus 0,2–0,4 m
Vedenpuhdistusaltaat (sakkaliete)			
Ei-pysyvä (tavanomainen)	moreeni (ylin) kallio (alin)	turve ³⁾ (ylin) järvilieju (alin)	vettäläpäisevä, turve toimii suodatinkerroksena
Ei-pysyvä (tavanomainen)	hiekkamoreeni (ylin) kallio (alin)	suojakerros (ylin) HDPE-kalvo (1 mm/1,5 mm) suojakerros (alin)	vesitiivis (10^{-9} – 10^{-15} m/s), paksuus 0,2–0,3 m
Ongelmajäte	moreeni tai turve (ylin) moreeni (alin)	suojakerros (ylin) HDPE-kalvo (2 mm) tai HDPE-kalvo (1 mm) + betoniittimatto suojakerros (alin)	vesitiivis (10^{-9} – 10^{-15} m/s), paksuus 0,2–0,4 m

¹⁾ Luonnon turpeen paksuus 0,5–1 m tai >1 m, tiivistyessään $\geq 0,3$ m

²⁾ Tiivistetyn turpeen paksuus vähintään 0,5 m

³⁾ Suoallas, joka toimii kosteikkopuhdistamona

ominaisuuksien ja/tai potentiaalisesti haitallisten aineiden esiintymisen ja liukenevuusriskin perusteella. Pohjarakennemateriaalien valinnassa huomioidaan jätealueen laajuus, rakennemateriaalien saatavuus ja hinta sekä jätteen ominaisuudet, kuten jätteen pitkäaikaisen kemiallisen muutunnan mahdolliset ympäristöriskit. Pohjarakennetta koskeva vaatimustaso ratkaistaan lopullisesti tapauskohtaisen harkinnan perusteella ympäristölupahakemuksesta annettavassa päätöksessä. Ympäristönsuojelulain mukaan maaperän ja pohjaveden pilaaminen on kielletty.

5.4.4

Kaivospatorakenteet ja niihin liittyvät selvitykset

5.4.4.1

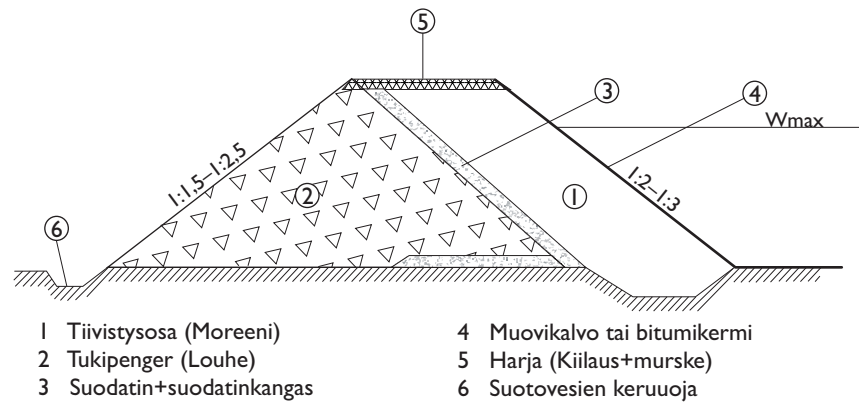
Kaivospatojen rakenteet

Kaivospadot ovat yleensä maa- tai louhepatoja. Betoniset kaivospadot ovat harvinaisempia. Maapadot jaetaan homogeenisiin maapatoihin ja vyöhykepatoihin. Homogeeniset maapadot on pääsääntöisesti rakennettu kokonaan yhdestä, samasta riittävän heikosti vettä läpäisevästä materiaalista. Vyöhykepadot on puolestaan rakennettu useasta eri vedenläpäisevyyden omaavasta materiaalista. Tiivistyskerroksen rakennusmateriaalina on molemmissa patorakenteissa yleisimmin moreeni. Louhetta käytetään yleensä aloituspenkereessä tai vyöhykepadoissa tukipenkereenä. Louhepadon rakentaminen on edullisempaa, mikäli rakennusmateriaalina voidaan käyttää kaivoksen sivukiveä (Kuva 29). Kaivosaltaiden patojen korottamisessa voidaan käyttää sivukiveä tai rikastushiekkaa, mikäli ne soveltuvat geoteknisten ja kemiallisten ominaisuuksiensa puolesta rakentamiseen.

Vyöhykepadossa veden virtaus padon lävitse estetään erillisellä tiivistysosalla (Kuva 29). Tiivistyskerroksen tulee olla riittävän vettä läpäisemätöntä ja sen tulee kestää sisäistä eroosiota. Tiivistysosa voi sijaita keskellä patoa tai padon altaan puoleisessa osassa märän luiskan pintaan asti (Sivonen & Frilander 2001). Kaivospatojen tiivistysosa sijaitsee käytännössä lähes aina padon altaan puoleisessa osassa märän luiskan pintaan asti. Mikäli vapaavesi on moreenista tehtyä tiivistysosaa vasten, verhoillaan luiska kiviheitokkeella. Padon tiivistysrakenteessa voidaan käyttää olosuhteista riippuen savea, silttiä tai moreenia. Tiivistysrakenteen vedenläpäisevyyden tulee olla pienempi kuin $K=10^{-7}$ m/s. Materiaalin tulee olla mahdollisimman tasalaatuista ja hyvin eroosiota kestävä (Leskelä 2005).

Tiivistyskerros voidaan myös tehdä keinotekoisesta materiaalista, esim. muovikalvoista tai kumibitumikermistä (Kuva 30). Muovin ja kermin alustan täytyy olla riittävän tasainen ja painumaton, jotta kalvo tai kermi ei repeä kuormituksen alaisena. Asennusalustana on usein joko kivetön moreeni (Kuva 30), hiekka tai hienomurske (kivituhka). Kivi, jonka läpimitta on suurempi kuin kalvon paksuus, voi aiheuttaa HDPE-kalvossa ajan myötä jännityssäröilyä, joka voi johtaa lopulta kalvon repeämiseen. Asennusalustan ja muovikalvon/bitumikermin väliin olisi hyvä asentaa bentoniittimatto pienentämään vaurioriskiä. Kalvo- ja kermivuotien saumat hitsataan kiinni, jotta saumat ovat tiiviitä. Keinotekoisia tiivistysrakenteita käytetään altaissa, jotka tehdään täysin nestetiiviiksi, esimerkiksi, jos altaaseen varastoidaan happoa tuottavia jätemateriaaleja.

Kemiallisten lietesakkojen varastoinnissa käytettävät altaiden patorakenteet eivät poikkea kovin merkittävästi rikastushiekka-altaiden patorakenteista. Esimerkiksi Talvivaarassa on kaivettu kipsisakka-altaan ja padon pohjalta pehmeät maakerrokset pois ja korvattu ne louheella ja moreenilla. Rakennuspohja on kuivattu pienlouhetäytteisillä salaojilla. Kaivannon pohja ja seinät on verhoiltu suodatinkankaalla ennen louhetäyttöä. Altaan märkäpuoli on vuorattu HDPE kalvolla, jonka alla on bentoniittikerros (Kuva 29).



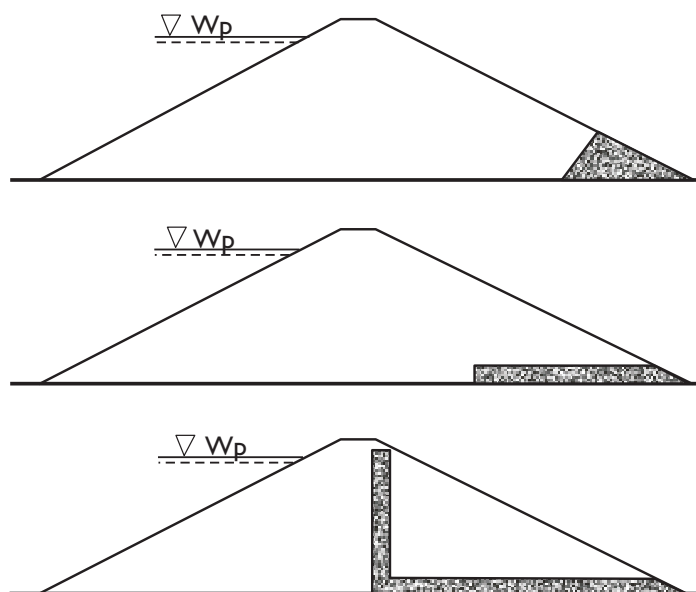
Kuva 29. Esimerkki rikastushiekka-altaan/lietesakka-altaan vyöhykepadon rakenteista.

Suodatinrakenteilla suotovedet pyritään johtamaan hallitusti padon lävitse siten, etteivät ne aiheuta sisäistä eroosiota. Vedet kerätään padon kuivalla puolella joko suoto-ojaan tai salaojaan, josta ne joko johdetaan edelleen luontoon tai pumpataan takaisin altaaseen riippuen suotoveden laadusta. Homogeenisen maapadon kuivan luiskan vakavuuden varmistamiseksi ja sisäisen eroosion ehkäisemiseksi patoon on rakennettava erillinen suodatinjärjestelmä (Kuva 31).

Suodatinmateriaalina käytetään yleensä hiekkaa tai soraa. Suodatinmateriaalin rakeisuuskäyrän muoto tulisi olla likimain sama kuin suojattavan tiivistysmateriaalin. Hienoainesta ($d < 0,06 \text{ mm}$) saa olla korkeintaan 5 %. Suodatinmateriaalin vedenläpäisevyyden tulisi olla 10–100 kertaa suurempi kuin suojattavan materiaalin (Leskelä 2005).



Kuva 30. Kumibitumikermi kaivospadon märkäpuolen päällysrakenteena, Kevitsan kaivos. Kumi-bitumikermi (+ bentoniittimaton) alla on yläosasta tiivistetty moreenikerros rajautuen louheeseen (vasenlata, ks. myös kuva 29). (Kuva Timo Regina)



Kuva 31. Suodattimen sijoitus homogeenisessä maapadossa. (Holm & Leskelä 1979)

Tukipenkereen tehtävänä on yhdessä padon muiden osien kanssa varmistaa padon vakavuus sekä suojata suodatin- ja tiivistysrakennetta. Luiskaverhouksen tarkoitus on suojata tukipengertä sateiden ja aallokon aiheuttamilta vaurioilta. Kaivospadoissa luiskaverhouksena käytetään pääsääntöisesti karkeaa mursketta tai pienlouhetta. Mikäli rikastushiekka-altaissa ei ole vapaata vettä patoa vasten, voidaan luiskaverhouksena käyttää myös moreenia. Katkaisuseinillä voidaan estää liiallinen veden virtaus padon alitse esim. kallion ja padon rajapinnassa. Kaikkia edellä mainittuja rakenneosia ei välttämättä ole kaikissa padoissa.

Tukipengermateriaali ei ole oleellinen maapadon toiminnan kannalta, mikäli tiivistys-, suodatin- ja kuivatusrakenteet sekä luiskien ulkoinen suojaus on hoidettu kunnolla. Tukirakenteena kannattaa käyttää mahdollisimman lujaa ja vettä hyvin läpäisevää materiaalia. Louhetta kannattaa käyttää tukirakenteissa, mikäli sitä on helposti saatavissa.

Patotyyppien valinta

Patotyyppien valintaan vaikuttavia tekijöitä ovat käytettävissä olevien materiaalien ja padon käyttötarkoituksen lisäksi mm. patopaikan geotekniset olosuhteet, tarvittavat työpatojärjestelyt ja käytettävissä oleva rakennusaika (Taulukko 28). Mikäli on odotettavissa merkittäviä painumia, ei yleensä ole suositeltavaa valita louherunkoista

Taulukko 28. Patotyyppien etuja ja haittoja. (Leskelä 2005)

Patotyyppi	Etuja	Haittoja
Homogeeninen pato	Selkeä rakentaa, valvonta helppoa tiivistämisen osalta	Suuremmat massat, kuivan luiskan vettymisriski
Vyöhykepato	Voidaan käyttää useita materiaaleja erilaisissa olosuhteissa, kokonaismassat pienempiä kuin homogeenisessä rakenteessa, jotkut tyypit sallivat osittaisen talvirakentamisen	Työn valvonta vaativampaa, materiaalien rajapinnoissa suodatinkriteerit tärkeitä, erilaiset muodonmuutosominaisuudet voivat aiheuttaa ongelmia
Louhepato	Varsinkin keinomateriaaleilla tiivistettynä kestävät mm. nopeiden vedenpinnan vaihteluiden aiheuttamia kuormituksia, pienin tilantarve, erikoisrakentein voidaan sallia ylivirtaus	Vaativat kantavan pohjan, materiaalin hankinta joskus kallista

patotyyppiä, jossa on vino tiivistysosa. Muita patotyyppin valinnassa rajoittavia tekijöitä ovat mm. käytettävissä olevan alueen koko, erityiset kuormitusvaatimukset (esim. ylivirtaus), epäedullinen rakentamisaika (talvirakentaminen, sateinen kesä) ja kaivospadoissa yleinen vaiheittainen rakentaminen (Leskelä 2005).

5.4.4.2

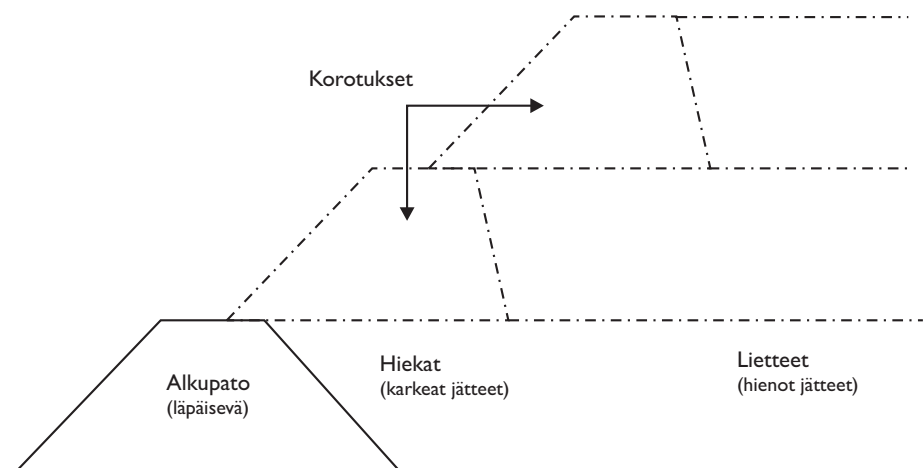
Kaivospatojen korottaminen

Kaivosaltaiden patoja korotetaan tavallisesti muutaman vuoden välein varastotilavuuden lisäämiseksi. Yleensä korotukset tehdään kaivoksen sivukivellä tai rikastushiekalla, mikäli ne soveltuvat geoteknisten ja ympäristökelpoisuusominaisuuksiensa puolesta korotukseen (ks. luku 5.4.2 ja Liite 6). Korotukset voidaan tehdä myös moreenista. Rikastushiekka ei yleensä ole geoteknisten ominaisuuksiensa (tai ympäristöominaisuuksiensa) puolesta paras mahdollinen rakennusmateriaali, mutta se on usein ainoa taloudellisesti järkevä materiaali, koska kaivoksen lähistöllä ei välttämättä ole esimerkiksi käyttökelpoista moreenia. Jos rikastushiekka on valittu korotusmateriaaliksi, korotukseen käytettävää rikastushiekkaa kaivetaan altaan sisäpuolelta ja nostetaan padon päälle ”kuivumaan” ennen rakentamista. Vaihtoehtoisesti altaan se osa, josta otetaan materiaali rakentamiseen, kuivatetaan ennen materiaalin ottoa. Rikastushiekkaliete pumpataan usein altaaseen padon reunoilta, jolloin karkeampi materiaali jää padon lähelle ja hienompi laskeutuu sisemmäksi altaaseen. Näin padon rakentamiseen on käytettävissä karkeampaa materiaalia, joka soveltuu padon korottamiseen.

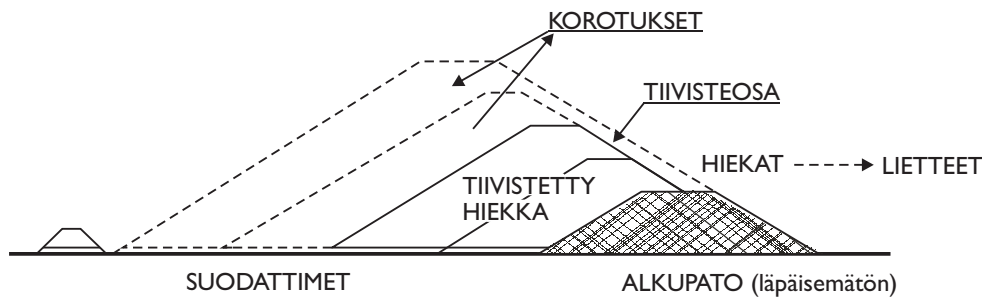
Kaivospadon korotus tapahtuu täyttönä joko ylävirtaan (Kuva 32), alavirtaan (Kuva 33) tai olemassa olevan padon molemmin puolin (Kuva 34).

Yleisin korotusmenetelmä on ylävirtaan täyttö, jossa padon harja siirtyy jokaisessa korotuksessa sisäänpäin altaaseen (Kuva 32). Ylävirtaan täyttö on edullisin toteuttaa, koska siinä kuluu vähiten materiaalia. Korotus tehdään yleensä osittain altaassa olevan hienomman, lujuudeltaan heikomman ja hitaammin tiivistyvän materiaalin päälle (Saarela 1990). Näin ollen padon stabiliteetti voi pienetä korotuksien myötä. Ylävirtaan täytössä on myös suotovesien hallinta vaikeampaa kuin muissa menetelmissä. Varsinkin, jos kuivaisuus padon reunan ja padotettavan nesteen välillä on liian lyhyt, voivat suotovedet nousta liian korkealle ja aiheuttaa padon murtumisen. Altaan pinta-ala ja näin ollen myös suhteellinen tilavuus pienenevät ylävirtaan täytössä.

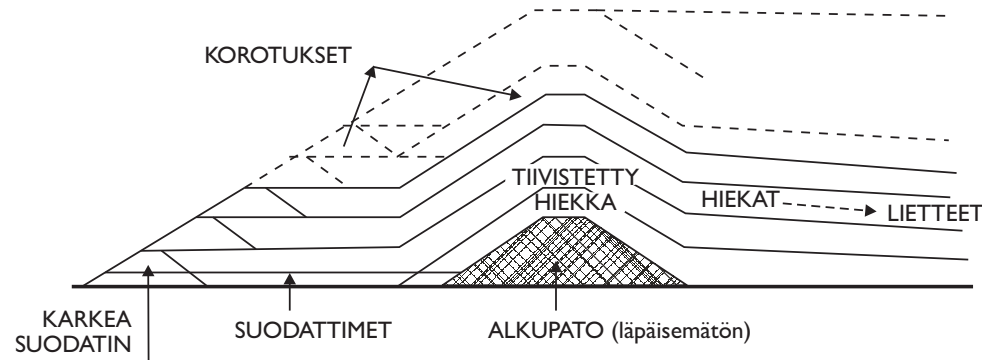
Alavirtaan täyttö on patoturvallisuuden kannalta paras vaihtoehto. Padon harja liikkuu täytettäessä altaasta poispäin ja on näin ollen stabiili (Kuva 33, Saarela 1990).



Kuva 32. Padon korottaminen täyttäminen ylävirtaan -menetelmällä.



Kuva 33. Padon korottaminen täyttäminen alavirtaan -menetelmällä (Saarela 1990).



Kuva 34. Padon korottaminen keskilinjan molemmin puoleisella täytöllä (Saarela 1990).

Myös altaan suhteellinen tilavuus kasvaa, kun altaan pinta-ala kasvaa. Menetelmän haittapuolena on runsas materiaalin- ja tilantarve. Menetelmää käytetään yleensä suurten nestemäärien varastointiin.

Täytettäessä patoa padon harjan molemmille puolille, saavutetaan molempien edellä mainittujen menetelmien hyviä puolia (Kuva 34). Padon harja pysyy paikallaan, jolloin stabiilitetti säilyy hyvänä eikä tilantarve kasva kohtuuttomasti. Keskilinjän molemmin puolin täyttöä ei yleensä käytetä suurten nestemäärien varastointiin (Saarela 1990).

Padon korottaminen on myös mahdollista tehdä yhdistämällä eri em. vaihtoehtoja. Esimerkiksi ensimmäiset kaksi korotusta voidaan tehdä louheella alavirtaan päin ja seuraavat korotuksen rikastushiekalla ylävirtaan päin. Näin saadaan altaalle tilavuutta lisää ja ns. peruspato ennen rikastushiekkakorotuksia on suurempi ja vakaampi kuin pelkällä rikastushiekalla ylävirtaan korotetussa tapauksessa.

5.4.4.3

Tutkimukset padon suunnittelun ja rakentamisen aikana

Suunnittelun aikaiset tutkimukset

Padot tulee rakentaa tiiviille ja kantavalle maapohjalle. Maapohjan kantavuutta ja soveltuvien patomateriaalien saatavuutta selvitetään maaperätutkimuksilla, kuten kairauksilla (painokairaus, heijari- ja puristinheijarikairaus, porakonekairaus), geofysikaalisilla menetelmillä (maatutkaus, seisminen luotaus, sähköinen maanvastusluotaus, gravimetrinen mittaus) ja/tai koekaivannoilla. Tutkimuksilla selvitetään padon rakennuspaikalta mm.:

- padon pohjan kantavuus- ja lujuusominaisuudet,
- maakerrosten vedenläpäisevyys kantavaan ja tiiviiseen pohjakerrokseen saakka,
- kalliopinnan sijainti, sekä
- kallion laatu ja rikkonaisuus (Slunga 2004).

Padossa käytettävästä tiivistysmateriaalista määritetään suunnitteluvaiheessa lisäksi vähintään optimivesipitoisuus, kuivairtoteheyden maksimi-arvo, painumiso-minaisuudet, leikkauslujuusparametrit, vedenläpäisevyys, rakeisuus ja plastiset ominaisuudet.

Rakentamisen aikaiset tutkimukset

Rakentamisen aikana tulee patopohjan soveltuvuuden varmistamiseksi ottaa näytteitä, joista tutkitaan vähintään rakeisuus, vesipitoisuus sekä tarvittaessa vedenläpäisevyys. Patoon käytettävän materiaalin maanäytteistä tutkitaan mm. optimikosteus, maksimikuivatilavuuspaino, vedenläpäisevyys ja rakeisuus. Suodatinmateriaalin käyttökelpoisuus todetaan rakeisuusnäytteillä. Lisäksi rakentamisen aikaan tarkkaillaan padon tiiveyttä materiaalista riippuen troxler-, pudotuspaino- tai levykuormituslaitteella tai volymetrillä. Mikäli tiiveysmittaukset tehdään troxler -laitteella, osa mittauksista on suositeltavaa tehdä volymetrillä. Tiiveysvaatimukset esitetään suunnitelmissa. Yleisesti käytetyt tiiveysvaatimukset ovat: troxlerilla mitattuna 90–95 % ja pudotuspaino- tai levykuormituslaitteella tiiveyssuhde $E_2/E_1=2,2-2,4$.

5.4.4.4

Patojen suunnitteluvaatimukset

Suunnitelmissa esitetään padolle suotovirtaus-, vakavuus- sekä painumalaskelmat. Padon vakavuus lasketaan vähintäänkin rakennusaikaisessa tilanteessa, normaalissa käyttötilanteessa sekä nopean vedenpinnan laskun jälkeen (Maijala 2010). Padon kuivavara määritetään suurimman aallonkorkeuden ja routamitoituksen mukaan.

Taulukko 29. Patojen mitoitus- ja suunnitteluun liittyvät vaatimukset.

Ominaisuus	Vaatimukset
Vakavuus	Painuma- ja stabiliteettimitoitus on tehtävä siten, ettei liukusortumaa pääse syntymään.
	Maapadon kokonaisvarmuuskertoimen tulisi olla pysyvässä suotovirtaustilassa vähintään 1,5.
	Rakennustyön aikaisessa tilanteessa sekä äkillisessä nestepinnan laskussa (HW-NW) kokonaisvarmuuskertoimen tulisi olla vähintään 1,3.
Padon suodatinrakenteet ja kuivatusjärjestelmät	Padon suodatin- ja kuivatusjärjestelmien tulee läpäistä vähintään 10 kertaa laskennallinen suotovesimäärä, ja suodatinrakenteet tai kuivatusjärjestelmän osat eivät saa padota nestettä.
	Suodatinrakenteen veden läpäisevyyden tulisi olla 10–100 -kertainen suojattavaan materiaaliin nähden.
	Padon tiivissydän ulotetaan vettäläpäisemättömään pohjamaahan ja tarvittaessa käytetään kallioon asti ulottuvaa katkaisuseinää. Mikäli kallio on rikkonaista, injektoidaan kallio siten, ettei neste pääse kulkeutumaan rakojen kautta.
Kuivavara	Kuivavara määritetään joko aallonkorkeuden tai roudan syvyyden mukaan.
	Kuivavaran tulisi olla vähintään 1,75 kertaa suurimman aallon korkeus.
	Kaivospadoissa kuivavaran määrittää yleensä roudan syvyys.
	Roudan syvyys tulee laskea 1- ja 2-luokan padoilla kerran kymmenessä vuodessa toistuvalla pakkasmäärällä (F10) ja 3-luokan padoilla kerran viidessä vuodessa toistuvalla pakkasmäärällä (F5).
Padon turvavara	1- ja 2-luokan padoissa turvavaran (tiivistysosan yläpinnan ja HW-tason erotuksen) tulisi olla vähintään 0,4 m ja 3-luokan padossa vähintään 0,3 m. Rakenteen ja pohjamaan painumavara täytyy lisätä mittoihin.
Padon harja	Padon harjan leveyden tulee olla 1- ja 2-luokan padoilla vähintään 4 metriä.
	Mikäli pato on yli 10 metriä korkea, lisätään leveyttä 0,5 metriä jokaista alkavaa 10 metriä kohti.
	Alle 4 metriä korkeille 2-luokan padoille hyväksytään harjan leveydeksi erityisyssistä 3,5 m. 3-luokan patojen harjan leveyden tulee olla vähintään 3 m.

Rakennettavan padon alta on pyrittävä poistamaan painuvat maakerrokset. Jos pato rakennetaan painuvalle pohjalle, tulee padon vesitiiviissä osissa käyttää (mikäli mahdollista) joustavaa materiaalia (Slunga 2004). Taulukkoon 29 on koottu padon mitoittamiseen ja suunniteluun liittyvät vaatimukset.

5.4.4.5

Kaivospatojen turvallisuus

Suuret vesi- ja lietemäärät sekä niitä ympäröivät patorakenteet muodostavat kaivoksen toiminnassa ympäristöön ja terveyteen kohdistuvan onnettomuusriskin. Tämän vuoksi suunnitelmat patojen rakentamiseen ja korotuksiin teetetään riittävää koke-musta omaavilla asiantuntijoilla, jotka suorittavat myös rakentamisen laadunvalvonnan. Myös normaalin käytön aikana edellytetään patorakenteiden ja jätealtaiden jatkuvaa, huolellista valvontaa sekä asiantuntijan toimesta suoritettavia määräaika-isia tarkastuksia.

Patojen luokittelu

Kaivospadot luokitellaan (kuten muutkin padot) nykyisen patoturvallisuuslain mukaan kolmeen luokkaan (luokat 1–3).

- 1-luokkaan luokitellaan padot, jotka onnettomuuden sattuessa aiheuttavat vaaraa ihmishengelle ja terveydelle taikka huomattavaa vaaraa ympäristölle ja omaisuudelle,
- 2-luokkaan luokitellaan padot, jotka onnettomuuden sattuessa saattavat aiheuttaa vaaraa terveydelle taikka vähäistä suurempaa vaaraa ympäristölle ja omaisuudelle,
- 3-luokkaan luokitellaan padot, jotka onnettomuuden sattuessa aiheuttavat vain vähäistä vaaraa.

Pato voidaan jättää myös luokittelematta, mikäli patoturvallisuusviranomainen toteaa, ettei padosta aiheudu vaaraa. Alustava arvio padon luokasta tehdään hanke-/yleissuunnitteluvaiheessa ennen lupakäsittelyä. Lopullinen luokittelu tehdään padon valmistumisen jälkeen ennen padon käyttöönottoa, kun patoturvallisuusasiakirjat on täydennetty toteutumatiiedoilla.

Padon omistajan on padon rakentamista koskevassa lupahakemuksessa (kaivospadoissa ympäristölupa) selostettava tarpeellisessa määrin padosta aiheutuva vahingonvaara sekä sen vaikutus padon mitoitusperusteisiin. Ennen padon käyttöönottoa pato luokitellaan ja sille hyväksytään vahingonvaaraselvitys ja tarkkailuohjelma. Padonomistaja tekee varsinaisen tarkemman vahingonvaaraselvityksen 1-luokan padoille. Patoturvallisuusviranomainen voi määrätä tarkemman vahingonvaaraselvityksen tekemisen myös muille kuin 1-luokan padoille, mikäli katsoo sen tarpeelliseksi padon luokan määrittämiseksi. Padon omistajan tulee laatia 1-luokan padoille turvallisuussuunnitelma, jossa kerrotaan miten toimitaan onnettomuus- ja häiriötilanteissa.

Patojen käyttöönottoa ja tarkastuksia on kuvattu tarkemmin kappaleessa 7.2 (ks. myös 8.1.1.2) ja patovaurioiden ennaltaehkäisyä kappaleessa 6.2.3.3.

6 Päästöjen ja ympäristövaikutusten vähentämistekniikat

Päästöjen pienentäminen ja ennaltaehkäisy ovat päästöistä aiheutuvien ympäristövaikutusten vähentämiseksi tehokkaimmat keinot. Itse ympäristöön kohdistuvat toimet ovat yleensä ”vahinkojen korjaamista”, joilla ei välttämättä saavuteta pysyviä vaikutuksia. Tyypillinen esimerkki vahinkojen korjaamisesta on esim. sulfidimalmien käsittelystä aiheutuneen happamoituneen maaperän ja vesistöjen paikallinen kal-kitseminen. Joissain tapauksissa ympäristöluvassa on veloitettu myös vaikutusten kompensointiin, esim. kalaistutuksia on voitu edellyttää kalakantojen elpymisen ja säilymisen edistämiseksi (Kuva 35).

Tärkeitä päästöjen ennaltaehkäisemiskeinoja ovat myös riskinarviointiin perustuvat varautumissuunnitelmat ja -järjestelmät. Esimerkiksi mahdollisten terveyttä uhkaavien kaasupäästöjen varalta on kaivoksilla oltava riskinarvioon perustuvat varautumissuunnitelmat sekä riittävän tehokkaat järjestelmät ympäristön asukkaiden varottamiseksi. Vastaavasti myös mahdollisten vesipäästöjen varalta on kaivoksilla oltava varautumisjärjestelmät, joilla turvataan ympäristövahinkojen minimointi.

Alla olevissa kappaleissa on kuvattu päästölähteittäin nykyisin kaivostoiminnassa käytössä olevia päästöjen vähentämistekniikoita.



Kuva 35. Kalan istutusta Kittilän kaivoksella. (Kuva Agnico-Eagle Mines Ltd)

Kaivoksen rakentamisaikaisten päästöjen vähentäminen

Kaivoksilla tapahtuu rakentamistoimintaa usein samanaikaisesti tuotantotoiminnan kanssa. Uusilla kaivoksilla rakentamisvaiheen kesto on yleensä 1–2 vuotta. Rakentamisvaiheen louhinnan päästöt ovat vastaavia kuin tuotantotoiminnan aikana. Näin ollen päästöjen vähentämiseen soveltuvat samat tekniikat kuin seuraavissa kappaleissa on kuvattu toiminnan aikaisten päästöjen vähentämisestä. Olennaista päästöjen vähentämisessä on, että rakennusorganisaatio on tietoinen rakennusvaiheesta aiheutuvasta pilaantumisen vaarasta ja ottaa käyttöön ja ylläpitää päästöjen vähentämistekniikat toiminnassa koko rakennusvaiheen ajan.

Kaivoksen toiminnan aikaisten päästöjen vähentäminen

Ilmaan kohdistuvat päästöt

Kaivostoiminnan pölypäästöjen hallitsemiseksi on tarjolla erilaisia teknisiä ratkaisuja, kuten suodattimia ja pölynkeräyslaitteita (murskaus, seulonta). Niiden lisäksi pölyämistä torjutaan mm. pitämällä pölyävät materiaalit riittävän kosteina (tiesto, räjäytyskenttä), kattamalla toiminnot, joista muodostuu pölyä, tai peittämällä pölyn lähteet. Kaasumaisten päästöjen vähentäminen perustuu erityisesti laiteteknisiin

Taulukko 30. Pöly- ja kaasupäästöjen ehkäisytoimenpiteitä ja vähentämistekniikoita.

Menetelmä	Toiminta	Toimenpidekuvaus
Pölyäminen	Räjäytys, louhinta ja malmin / sivukiven kuljetus	Räjäytyksen panostuksen mitoitus ja vaiheistus (räjähdyskentän kastelu); panosreikien täkkäys; toiminnan siirtyminen avolouhoksessa syvemmällä / maanalaiseen kaivostilaan; pölynpoistojärjestelmät poravaunuissa ja maanalaisessa kaivoksessa; porauspölyn imeminen ja käsittely; lastattavan kiven kastelu; ajoteiden kastelu, pölynsidonta-aineiden käyttö; kuormien peitot, renkaiden pesu (pitkät kuljetukset)
	Murskaus ja seulonta	Murskaus ja seulonta sijoitetaan suljettuun tilaan / maanalaiseen kaivososaan; pölynpoistojärjestelmä (imuri, sähköinen laskeutus, kotelointi, pesu / kastelu, suodatus, pölynsidontakemikaalien käyttö); pölynpoistolaitteiden säännöllinen huolto
	Malmin rikastus (kuivatus)	Kuivauksen lämpötilan säätö, suodatusjärjestelmä (kuivatuksen vaihtoehto), kotelointi
	Malmirikasteiden lastaus ja kuljetus	Rikasteiden varastointi ja lastaus katetuissa tiloissa; ulkotiloissa: varastoalueen pohjan asfaltointi / tiivis pohjarakenne; asfaltoidun lastausalueen ja koneiden renkaiden pesu (viemärointi / pesuvesien keräys puhdistamolle); varastokasojen kastelu / peitto (valumavesien keräys puhdistukseen); kuormien peittäminen / pölynsidonta-aineiden levitys kuorman päälle
	Kaivannaisjätealueet	Peitto + kasvit, kastelu (vesi, kalkkimaito) / vesipeitto jätealtaissa
Kaasupäästöt	Räjäytys	Räjäytyksen panostuksen mitoitus ja vaiheistus, räjähdyskemikaalin valinta; maanalaisen kaivostilan tuuletus ja poistoilman puhdistus
	Koneiden käyttö (louhinta, kuljetus)	Pienipäästöisten koneiden valinta; vähärikkisen polttoaineen käyttö; kaluston säännöllinen huolto
	Malmin rikastus	Kaasupäästöjen talteenotto- ja puhdistusjärjestelmä (pesu, neutralointi); kemikaalien oikea annostus ja happojen riittävä laimentaminen; laitteiston säännöllinen huolto ja kunnostus

valintoihin (mm. kaivuskoneet, voimalaitokset) ja erilaisten puhdistustekniikoiden käyttöön. Koneista ja laitteista aiheutuvia kaasumaisia päästöjä voidaan myös vähentää esimerkiksi vähärikkisen polttoaineen käytöllä, valitsemalla pienipäästöisiä koneita ja kuljetuskaluston säännöllisellä huollolla.

Taulukossa 30 on esitetty eri toiminnoista muodostuvien pöly- ja kaasupäästöjen vähentämistekniikoita, joita on kuvattu lyhyesti seuraavissa kappaleissa. Taulukossa 31 on esitetty suomalaisilla toiminnassa olevilla kaivoksilla toteutettuja ilmapäästöjen vähentämistoimia. Jätealueiden päästöjen hallintaa on käsitelty laajemmin kappaleessa 6.2.3.

Taulukko 31. Esimerkkejä käytössä olevista keinoista ilmaan kohdistuvien päästöjen ja niistä aiheutuvien ympäristövaikutusten vähentämiseksi toiminnassa olevilla kotimaisilla metallikaivoksilla.

Kaivos/ tuotantolaitos	Ilmaan kohdistuvien päästöjen torjunta/ ympäristövaikutusten vähentäminen
Kemin kaivos	Kaivoksessa ja rikastamolla on käytössä pölynpoistojärjestelmät.
	Ajoteilla ja läjitysalueilla pölyämistä ehkäistään kastelulla ja pölynsidontaineilla.
	Rikasteet varastoidaan sisätiloissa. Lastausalueet on asfaltoitu ja ne pestään kesäaikaan säännöllisesti. Ulos varastoitua rikastetta kastellaan kesäaikaan sadetuslaitteilla.
	Rikastushiekka-alueella on kokeiltu kalkkimaitoa pölyämisen estämiseksi.
	Rikastushiekka-alueiden peittäminen ja maisemointi heti alueen tultua täyteen.
	Varautumisjärjestelmä ympäristövahinkojen varalta olemassa.
Kittilän kaivos	Pölyämistä ajoteilla ja läjitysalueilla ehkäistään kastelulla ja pölynsidontaineilla.
	Murskaus suoritetaan osittain suljetussa tilassa. Poistoilma suodatetaan kangassuotimella, josta kiintoaine menee murskehihnalle.
	Painehapetusprosessin poistokaasu pestään kaasunpesurilla.
Pyhäsalmen kaivos	Rikasteiden kuivausrummut on korvattu painesuotimilla.
	Typpihapolle on laimennusjärjestelmä NO ₂ -päästöjen ehkäisemiseksi.
	Cu- ja Zn-rikasteet varastoidaan varastohallissa.
	Avoin varasto- ja lastausalue on asfaltoitu. Alueen pestään säännöllisesti.
	Jätealue käsitellään kalkkimaidolla tarvittaessa pölyämisen estämiseksi.
	Varautumisjärjestelmä ympäristövahinkojen varalta on olemassa.
Talvivaaran kaivos	Avolouhoksen poravaunut on varustettu pölynpoistolaitteilla.
	Tilapäisen murskauksen pölypäästöjä vähennetään koteloinnilla ja kastelulla.
	Tiestön pölyämistä torjutaan säännöllisellä kastelulla.
	Murskaamalla ja seulonnassa on pölynpoistojärjestelmä.
	Hönläpösuurit rikkivetypäästöjen torjumiseksi metallien talteenotto-prosessista.
	Rikasteet varastoidaan sisätiloissa ja kuljetaan säiliöissä.
	Kipsisakka-altaiden pinta pidetään kosteana pölyämisen estämiseksi.
Sastamalan rikastamo	Murskaamalla käytetään kastelua tarvittaessa, mikäli jäätymisvaaraa ei ole.
	Pölynpoiston tehostamista tutkitaan.
	Rikasteet varastoidaan ja lastataan hallissa ja kuljetetaan peitettyinä.
	Pölyämistä rikastushiekka-alueella torjutaan kastelemalla ja savipeitolla.
Sotkamon kaivos	Pölyämistä ajoteilla hillitään kesäaikaan kastelemalla ja pölynsidontaineilla.
	Malmin välivarasto on siirretty sisätiloihin.
	Ajoittain esiintyviä pölypäästöjä jätealueelta torjutaan pölynsidontaineilla, kastelulla ja maisemoinnilla.

6.2.1.1

Louhinta ja malmin kuljetus

Lastauksesta syntyvää pölyämistä voidaan vähentää kastelemalla lastattava kiviaines. Malmin ja sivukiven kuljetusreiteiltä leviäviä pölypäästöjä torjutaan yleisesti kastelemalla tiet ja/tai levittämällä teille pölynsidonta-aineita. Kalsiumkloridi on yleisimmin käytetty pölynsidonta-aine, mutta sen käyttö voi johtaa alueen pinta- ja pohjavesien kloridipitoisuuden kohoamiseen. Pölyn sidontaan on nykyisin tarjolla myös muita, ympäristöystävällisempiä kemikaaleja, kuten kaliumformiaatti.

Pitkillä kuljetusmatkoilla pölyn leviäminen malmikuljetusten kuormista estetään tehokkaimmin peittämällä kuormat. Pakokaasupäästöjä vähennetään sekä maan alla että maan päällä ajoneuvoissa olevilla puhdistustekniikoilla, kuten katalysaattoreilla. Pakokaasujen vähentämisessä keskeistä on valita vähäpäästöisiä kaivoksia.

Räjähdyksien pölypäästöjä voidaan vähentää panostuksen vaihteelluudella, räjähdyskemikaalin valinnalla ja optimoimalla annostus. Pölyn määrää vähentää myös porauspölyjen imeminen puhdistuskäsittelyyn. Räjähdyksissä muodostuva häikä kertyy ilmaa raskaampana räjähtäysalueen pohjalle ja se poistetaan maanalaisesta kaivoksesta tuulettamalla.

6.2.1.2

Murskaus ja seulonta

Murskauksesta ja seulonnasta aiheutuvien pölypäästöjen vähentämiskeinot riippuvat siitä, onko murskaus- ja seulontapiiri sisä- vai ulkotiloissa. Sisätiloissa olevan murskaus- ja seulontapiirin pölypäästöjä ehkäistään työsuojeluvaatimusten mukaisella pölynpoistojärjestelmällä, jossa laitteet on koteloitu. Lisäksi pölynpoistoon käytetään imurijärjestelmää. Pölypäästöjä voidaan vähentää myös kastelulla tai käyttämällä pölynsidontakemikaaleja. Kemikaalien käyttöä pölynsidonnassa voi rajoittaa niiden rikastusprosessia haittaava vaikutus. Murskaus- ja seulontapiirin pölyntorjunnassa voidaan käyttää myös sähköisiä pölyn laskeutusjärjestelmiä. Suodattimet tai pesurit estävät tehokkaasti pölyämistä järjestelmästä ulos ympäristöön. Pölynpoistojärjestelmien tehokas toiminta edellyttää myös laitteiden hyvää kuntoa ja huoltoa.

Kokonaan tai osittain ulkotiloissa sijaitsevan murskaus- ja seulontapiirin pölypäästöjä voidaan vähentää koteloimalla laitteita ja ohjaamalla pölyä hallitusti suodatuksen kautta ulos. Useimmiten pölyn sidonnassa käytetään kuitenkin kastelulaitteita, jotka sumuttavat hienojakoista sumua suuttimien kautta. Suomen ilmasto-olosuhteissa vesikastelun käyttäminen ei kuitenkaan ole aina mahdollista kovien pakkasten vuoksi. Pölynsidontakemikaalit (kloridit ja formiaatit) kestävät pakkasta vettä paremmin.

6.2.1.3

Rikastus

Rikastusprosessin kaasu- ja pölypäästöt muodostuvat pääasiassa rikasteiden kuivauksesta, rikastuskemikaalien käytöstä ja rikastuksen aikana tapahtuvista kemiallisista reaktioista.

Kuivausrummuissa ja muissa polttoöljyllä toimivissa rikasteen kuivauslaitteissa on yleensä ilmapäästöjen vähentämiseksi savukaasupesuri, jonka suorituskyky riippuu kuivausprosessin tasaisesta toiminnasta sekä pesurin teknisestä kunnosta. Äkillisiä vaihteluita prosessin toiminnassa tai lämpötilan liiallista nousemista pyritään välttämään kuivausprosessin säätämällä. Usein kuivausprosessi kuitenkin korvataan tehostamalla rikasteen suodatusjärjestelmää siten, että rikasteessa on riittävä loppukosteus ilman kuivatusta. Suodatusjärjestelmän säätäminen voi toisinaan olla taloudellisesti mahdotonta tai rikasteen loppukosteusvaatimukset voivat edellyttää kuivurin käyttämistä.

Kemikaalien käytöstä ja kemiallisista reaktioista johtuvia rikastusprosessin kaasupäästöjä pyritään vähentämään prosessin säätämällä ja epätoivottujen reaktioiden estämisellä teknisillä järjestelyillä. Esimerkiksi väkevän hapon ja sulfidien tai orgaanisten aineiden keskinäisten reaktioiden tuloksena syntyvän rikkivedyn (H_2S) tai typpidioksidin (NO_2), syntymistä voidaan parhaiten estää kemikaalien tarkalla annostelulla ja happojen riittävällä laimentamisella ennen käyttöä. Rikkivetyä voi päästä ympäristöön myös sulfidisaostuksen yhteydessä. Rikkivetypäästöjä voidaan tällöin vähentää hapettamalla rikkivety esimerkiksi vetyperoksidilla. Rikkivetyä voidaan poistaa myös kaasupesureilla käyttämällä poistokaasussa laimeaa lipeäliuosta.

6.2.1.4

Rikasteiden lastaus ja kuljetus

Rikasteen varastoinnin ja lastauksen pölypäästöjä voidaan tehokkaimmin vähentää varastoimalla ja lastaamalla rikasteet katetussa varastohallissa. Ulkona varastoitavien rikastekasojen pölypäästöjä voidaan vähentää peittämällä kasat osittain tai kastelemalla niitä. Osittainen peittäminen kuitenkin vaikeuttaa lastauksia, ja rikastekasojen kastelusta voi puolestaan aiheutua vesipäästöjä. Avoimella alueella varastoitavien rikastekasojen pölypäästöjä vähennetään myös asfaltoimalla ja viemäroimalla alue siten, että se voidaan puhdistaa harjauksen ohella myös vesipesulla.

Rikasteen kuljetuksissa tehokkain tapa estää kuorman pölyäminen on kuormien peittäminen. Junakuljetuksissa pölyämistä estetään käyttämällä kannellisia vaunuja tai peittämällä kuormat pressuilla. Autokuljetuksissa kuormien peittäminen on vakiintunut käytäntö. Junakuljetusten aikana pölyämistä voidaan estää myös sumuttamalla pölynsidonta-aineita, esimerkiksi lignosulfaattia (esim. Lignobondia) tai kaliumformiaattia (esim. Kemdustia), vesiliuoksena vaunukuorman pintaan. Pölynsidonta-aineiden käyttäminen ei ole kuitenkaan yhtä tehokasta kuin kuormien peittäminen.

6.2.2

Päästöt vesiin

Kaivosalueen jätevesienhallinnan suunnittelun lähtökohtana ovat perustilaselvitysten ja/tai erilliselvitysten hydrologiset ja hydrogeologiset tiedot kaivosalueelta sekä arviot kaivostoiminnan tarvitsemasta veden määrästä ja syntyvistä jätevesimääristä. Suunnittelussa tarvitaan mm. seuraavia tietoja (ks. myös EC 2009):

- valuma-alueen/valuma-alueiden vuotuinen sadantavaihtelu, sadantapiikkien esiintyminen
- alueen pintatopografian vaihtelu, luontaiset pintavesien kulkeutumisreitit, järvivesien luontainen kerrosvaihtelu (mm. lämpötila, happipitoisuus, pH, Eh / Redox, ravinteisuus)
- pohjavesiesiintymät; irtomaan pohjaveden antoisuus, purkautumiskohteet (lähteisyys)
- kallion ruhjeisuus; kalliopohjaveden antoisuus avolouhosalueella/maanalaisessa kaivoksessa; arvio kuivanapitovesien määristä
- malmin rikastuksessa tarvittava prosessiveden määrä; prosessiveden otto luonnon pintavesistä - sisäisen kierrätyksen mahdollisuus
- jätealueiden laajuus ja arvio niiden valumavesien laadusta ja määrästä
- rakennetun alueen ja tuotteiden varasto- ja lastausalueiden (teollisuusalueen) laajuus ja arvio pintaveden laadusta ja määrästä
- tiestön tiheys; malmin / kaivannaisjäteainesten kuljetusreitistön laajuus
- ojitus.

Vesien hallintajärjestelmän toimivuuden perusteena on kartoittaa kaikki kohteet, joissa muodostuu ympäristöä potentiaalisesti pilaavia vesiä, ja ohjata nämä vedet hallitusti puhdistettavaksi ennen vesien kierrätystä takaisin malmin rikastukseen ja/ tai ennen juokсутusta luonnon vesistöön (Heikkinen *et al.* 2009). Eri toimintakohteissa muodostuvat vedet voidaan keskitetysti koota samaan allaskäsittelyyn tai jakaa vesijakeiden puhtausasteen mukaisesti erillisiin allaskäsittelyihin (Räisänen & Juntunen 2004). Jakoperusteena on yleensä puhtaiden pintavesien tai lähes puhtaiden vesien erottaminen ympäristöä pilaavista vesistä. Näin vähennetään käsiteltävien vesien määrää ja voidaan säästää vesien käsittelykustannuksissa.

Vesipäästöjä voidaan yleisesti vähentää lisäämällä veden sisäistä kierrätystä ja tehostamalla (minimoimalla) veden käyttöä malmin prosessoinnissa. Vesipäästöjen ympäristövaikutusten vähentämisessä ja ennaltaehkäisyssä lähtökohtana on toimiva vesien keräysjärjestelmä ja puhdistusmenetelmä. Taulukossa 32 on esitetty vesipäästöjen vähentämistekniikoita ja Taulukossa 33 toiminnassa olevien kaivosten vesipäästöjen ja niiden ympäristövaikutusten vähentämiskeinoja. Seuraavissa kappaleissa on ensin kuvattu yksityiskohtaisemmin metallikaivostoiminnan jätevesienkäsittelymenetelmiä ja sitten esitetty kuvaus eri toimintojen vesipäästöjen vähentämiskeinoista.

Taulukko 32. Kaivostoiminnan vesipäästöjen yleisiä vähentämistekniikoita.

Menetelmä	Toimenpidekuvaus
Sisäinen kierrätys	Kuivanapitovesiä ja/ tai puhdistettuja prosessivesiä kierrätetään uudelleen malmin rikastuksen käyttöön
Puhdistettavien vesien määrän vähentäminen	Kaivostoiminta-alueen vesipäästöjen kartoitus: vesien käsittelyyn ohjataan vain likaisia vesiä
Prosessin käyttövesimäärän minimointi	Tehostetaan / vähennetään malmin prosessiveden käyttötarvetta (menetelmäkehitys)
Hajakuormituksen vähentäminen	Vesien puhdistuslaitteille rakennetaan vesitiiviit pohja- ja patorakenteet / reaktiiviset pohjarakenteet (haitta-aineiden pidätyminen)
	Jätealueille rakennetaan tiiviit pohja- ja patorakenteet estämään valumavesien kulkeutuminen pohjaveteen
	Jätteiden läjitysalueilla syntyvien potentiaalisesti ympäristöä pilaavien vesien kerääminen puhdistukseen
	Malmin varastoalueelle rakennetaan tiivis pohjarakenne, asfaltoidaan lastausalue; pintavesien keräys puhdistukseen
	Malmin ja sivukivijätteen kuljetusteiden ojitus ja ojavesien ohjaus puhdistukseen

Taulukko 33. Esimerkkejä suomalaisilla metallikaivoksilla käytettävistä menetelmistä vesi- ja jätevesikuormituksen ja niistä aiheutuvien ympäristövaikutusten vähentämiseksi.

Kaivos/ tuotantolaitos	Päästöjen torjunta/ympäristövaikutusten vähentäminen
Kemin kaivos	Lähes kaikki rikastusprosessissa tarvittava vesi otetaan kiertovetenä jätealueen selkeytysaltaalta.
	Kaikki kaivosalueen pintavedet ohjataan selkeytysaltaalle.
	Varautumissuunnitelma ympäristövahinkojen osalta on olemassa.
Kittilän kaivos	Kaivoksen kuivanapitovedet ohjataan ennen ulosjuokсутusta pinta-valutuskentälle, johon kiintoaine, arseeni ja metallit pidättyvät.
	Sivukivet lajitellaan kemiallisen luonteensa perusteella ympäristökelpoisiin ja potentiaalisesti happoatuottaviin. Potentiaalisesti happoatuottava kiviaines kapseloidaan karbonaattipitoisella kivellä, mikä neutraloi mahdollisia happamia vajoja. Suotoveden laatua seurataan kasan sisään asennettujen lysimetrien vesistä. Läjitysalueen suotovedet ohjataan prosessivesien käsittelyyn.
	Malmin väliaraston pohja on vesitiivis. Suoto- ja valumavedet kerätään ja johdetaan prosessivesikiertoon.
	Prosessivesien kierrätys pyritään maksimoimaan.
	Jätealtaan pohja on tiivis kumibitumikermirakenne.
	Syanidi hajotetaan prosessivedestä tehtaalla ennen juokсутusta jätealtaalle.
	Suoritetaan kalojen istutuksia.
Pyhäsalmen kaivos	Kaivoksen kuivanapitovedestä saostetaan metallit kalkilla jätealtaalla.
	Jäteveden takaisinkierrätystä toteutetaan siinä määrin kuin se on mahdollista ilman kipsin saostumisongelmia.
	Kaikki kaivosalueen pintavedet kerätään ojituksin talteen ja ohjataan jätealueelle neutraloitaviksi.
	Jätealtaat on rakennettu tiiviille maaperälle ja suotovedet kerätään ympärysojiin, joista ne pumpataan takaisin altaaseen.
	Lopullinen jätevesi ilmastetaan talviaikaan ennen vesistöön laskemista hapenkulutuksen pienentämiseksi.
	Kalojen istutuksia tuetaan rahallisesti.
	Varautumissuunnitelma ympäristövahinkojen varalta on olemassa.
Talvivaaran kaivos	Kaikki kaivoksesta pumpattava vesi käytetään bioliuotuksen kiertovetenä.
	Sivukivikasojen ja jätesakka-aitaiden pohjat ovat tiiviitä HDPE-kalvo+ bentoniittirakenteita. Kipsisakka-aitaista ei johdeta vesiä ympäristöön, vaan ne palautetaan prosessikiertoon.
	Putkilinjat on sijoitettu muovikanaaleihin päästöjen estämiseksi onnettomuustapauksissa. Vuodot kerätään varoaltaaseen.
Jokisivun kaivos	Sivukivien läjitysalueen pohja on rakennettu moreenista.
	Pumpatuille kuivanapitovesille on rakennettu kiintoaineen laskeutus- altaat, joiden sisäpuoli on tiivistetty savella.
Sastamalan rikastamo	Kaikki rikastamon käyttövesi otetaan vanhan nikkelikaivoksen pumppausvedestä.
Sotkamon kaivos	Rikastushiekasta on voitu ottaa hyötykäyttöön noin 10 %.
	Kaivoksen pumppausvesi käytetään prosessivetenä nikkelin saostuksen jälkeen.
	Jätevesi kierrätetään takaisin prosessiin.
	Prosessivesistä saostetaan arseeni ferrisulfaatilla ja nikkeli lipeällä.
	Jätealtaan suotovedet pumpataan takaisin altaaseen tai kosteikkokäsittelyyn (passiivinen puhdistus) jälkeen ympäristöön.

Jätevesien puhdistusmenetelmät

Kaivostoiminnan vesien puhdistuksessa on nykyisin käytössä sekä aktiivisia että passiivisia menetelmiä (Taulukko 34). Jätevesien aktiivinen puhdistaminen edellyttää jatkuvaa vesien puhdistusta edistävän kemikaalin lisäystä, mikä kuluttaa energiaa. Sen sijaan passiivinen veden puhdistus perustuu luontaisiin biogeokemiallisiin reaktioihin ja luonnon energian käyttöön (painovoima, mikrobiologinen metabolinen energia, fotosynteesi) (Tremblay & Hogan 2000, Walton-Day 2003). Mikrobiologiset puhdistusmenetelmät voivat olla joko aktiivisia tai passiivisia. Aktiivinen käsittely vaatii bakteerien energialähteen, hiilen lisäystä (orgaaninen aines /CO₂) ja mahdollisesti myös bakteeriympin lisäystä, Taulukko 34). Sen sijaan esimerkiksi passiivisessa sulfaatin pelkistykseen perustuvassa puhdistuksessa kosteikkoaltaan kasvijäänteiden hajoamistuotteet toimivat bakteerien energian lähteenä.

Suomen kaivoksilla yleisin käytetty aktiivinen puhdistusmenetelmä on veden pH:n säätö kalkilla veden happamuuden neutraloimiseksi ja metallien ja metalloidien saostamiseksi hydroksideina ja/tai karbonaateina (Taulukko 34a). Kalkki voi olla joko sammutettua (kalsiumhydroksidi) tai sammuttamatonta (kalsiumoksidi). Vaihtoehtoisesti pH-säädössä ja metallien saostamisessa käytetään lipeää (NaOH) tai hienojakoista karbonaattimineraalijauhetta (kalsiittia/dolomiittia). Metallien ja/tai metalloidien saostamiseksi voidaan käyttää myös muita kemikaaleja. Esimerkiksi liukoksen arseenin poistoon soveltuu arseenin hapettumista edistävä ferro- tai ferrisulfaatti.

Jätevesien kiintoaineksen poisto perustuu yleensä hienojakoisen aineksen laskeuttamiseen altaissa (kierrättämällä vettä heikolla virtauksella kahden tai kolmen altaan läpi) tai laskeutumista edistävien flokkuloivien tai koaguloivien yhdisteiden käyttöön. Jälkimmäiset edistävät saostumapartikkelien koon kasvua, mikä nopeuttaa niiden laskeutumista altaisiin. Puhdistuksessa syntyvät sakkalietteet jäävät altaiden pohjalle loppusijoitukseen.

Passiiviset puhdistusmenetelmät eivät edellytä säännöllistä puhdistusta edistävien kemikaalien lisäystä tai energian käyttöä (PIRAMID Consortium 2003). Sen sijaan puhdistuksen toimivuuden varmistaminen eri vuodenaikoina voi edellyttää jatkuvaa veden laadun seurantaa. Vesien puhdistus perustuu joko aerobisiin tai anaerobisiin kemiallisiin ja biokemiallisiin reaktioihin tai molempien yhdistelmään (Taulukko 34b, Walton-Day 2003). Aerobiset reaktiot perustuvat raudan tai mangaanin hapettumiseen ja sitä seuraavaan saostumiseen ja muiden metallien pidätykseen saostumien pintaan (adsorptio) tai itse saostumaan (fiksaatio). Anaerobinen puhdistuminen perustuu sulfaatin pelkistymiseen bakteeritoiminnan kautta ja sen myötä metallien saostumiseen sulfideina altaan pohjakerrokseen. Passiiviset puhdistamot koostuvat vesien keräysajasta, vesialtaista ja/tai imeytyskentistä sekä jälkiselkeytysaltaista. Passiivinen puhdistamo voi toimia myös aktiivisen puhdistamon jälkipuhdistamona.

Taulukko 34. Jätevesien aktiivisia (a) ja passiivisia (b) puhdistusmenetelmiä. (Tremblay & Hogan 2000, EC 2009, PIRAMID Consortium 2003, Lottermoser 2007)

a)

Aktiivinen vesien puhdistuskäsittely	Vaikuttava kemikaali / luonnon yhdiste	Puhdistuksen periaate
Alkalikäsittely (allas-/säiliökäsittely, automaattiotankkikäsittely, lisäykset lietesytöön ennen allaskäsittelyä)	Kalkki $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ tai CaO , lipeä (NaOH) tai karbonaattijauhe (kalsiitti/dolomitti)	pH:n nosto, mikä edesauttaa veden neutraloitumista ja metallien saostumista hydroksideina tai sulfaattisuoloina
Ilmastus (ilman pumppaus altaaseen tai säiliöihin / veden keräysjärjestelmään)	Ei	Edistää raudan (Fe^{2+}) hapettumista ja saostumista, mikä edesauttaa metallien tai metalloidien (As) pidättymistä rauta(Fe^{3+})saostumiin
Hapetinkemikaalin lisäys	Ferrosulfaatti / Ferrisulfaatti	Edistää liukoisien arseenin (As^{3+}) hapettumista ja pidättymistä niukkaliukoiseina (As^{5+}) rauta-hydroksideihin
Typen poisto	Bakteerilisäys + CO_2	Nitrifikaatio (hapettuminen: ammonium → nitriitti → nitraatti), denitrifikaatio (pelkistuminen: nitraatti → typpikaasu)
Sulfaatin poisto	Kalkki- ja $\text{Al}(\text{OH})_3$ -lisäys tai Ba-suolan lisäys	Sulfaatti saostetaan ettringiittinä $[\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12}\cdot 26\text{H}_2\text{O}]$ tai Ba-sulfaattina
Sulfaatin ja metallien poisto (Bakteerilisäys säiliöön / louhosveteen)	Bakteeriympätty membraanikalvo / Sianlantalieliselisäys tai muun bakteereja sisältävän orgaanisen aineksen lisäys	Edistää sulfaatin pelkistymistä sulfidiksi ja siihen liittyen liukoisten metallien saostumista metallisulfideina
Kiintoaineen poisto		
Laskeutus altailla	Ei	Vettä kierrätetään useamman altaan kautta hitaalla virtaamalla
Flokkuloivien / koaguloivien aineiden lisäys	Orgaaniset polymeerit / Fe tai Al suolat	Edistää hienorakeisen kiintoaineen laskeutumista /saostumapartikkelien koon kasvua ja sitä kautta laskeutumista

b)

Passiivinen vesien puhdistus	Reaktiivinen rakenne	Puhdistuksen periaate
Rakennetut kosteikkoaltaat	Pohjarakenteena orgaaninen aines-karbonaattikivimurske (tai emäksinen kuona)-orgaaninen aines	Sulfaatin pelkistuminen bakteerien avulla edistää metallien / metalloidien saostumista metalli-/metalloidisulfideina; metallien pidättäminen orgaaniseen ainekseen (kompleksisidos); veden neutraloituminen
Imeytyskentät / kaivannon täyte	Orgaaninen aines (turve, kompostimulta, kompostoitu lanta) ja/tai metalleja sitova emäksinen kuona	Edistää liukoisten metallien /metalloidien sitoutumista kiintoaineen pintaan (fysikaalinen tai kemiallinen adsorptio); veden neutraloituminen
Reaktiiviset ojat	Karbonaattipitoinen kivilouhe / emäksinen, karkearakeinen kuona	Edistää happaman veden neutraloitumista; virtauksen säätelyllä ja katteella voidaan edistää raudan saostumista / pysymistä liukoiseina / estää saostumien kertymistä rakenteeseen ja tukkeutumista
Reaktiivinen pato / penkere / maanalainen seinämä	Orgaaninen aines (turve, kompostimulta, kompostoitu lanta) / metalleja sitova emäksinen, karkearakeinen kuona	Edistää liukoisten metallien /metalloidien sitoutumista kiintoaineen pintaan (fysikaalinen tai kemiallinen adsorptio); veden neutraloituminen

6.2.2.2

Louhinnan vesipäästöt

Kaivoksesta pumpattavan veden johtamista vesistöön voidaan vähentää hyödyntämällä vesi mahdollisuuksien mukaan prosessissa tuorevetenä tai muissa soveltuvissa tarkoituksissa. Kuivanapitovedestä poistetaan hienojakoinen liete sakka-altaassa laskeuttamalla joko maan alla tai maan päällä ennen veden kierrätystä prosessiin – tai johtamista vesistöön. Laskeuttamisen tehostamiseksi voidaan käyttää flokkulanteja. Monilla kaivoksilla louhoksen tai maanalaisen kaivoksen kuivanapitovedet ohjataan laskeutusaltaiden jälkeen yhdessä rikastamon prosessivesien ja rikastushiekan kanssa rikastushiekka-altaisiin, joista vesi pumpataan edelleen selkeytysaltaille jatkokäsittelyyn ennen vesien sisäistä kierrätystä ja/tai juoksutusta vesistöön.

Ympäristölle haitalliset metallit tai metalloidit poistetaan kemiallisella käsittelyllä kuivanapitovesistä ennen niiden johtamista vesistöön. Edellä olevassa kappaleessa on kuvattu vaihtoehtoja metallien poistamiseen vedestä. Myös räjähdysainejäämien poistaminen edellyttää erillistä käsittelyä. Hydraulikkajärjestelmien vuodoista peräisin olevat mineraaliöljyt erotetaan vedestä öljynerottimilla.

Räjähdysainejäämät voivat olla kemiallisessa vesienkäsittelyssä ongelmallisia, jos metallien poisto vedestä edellyttää korkeaa pH:ta. Tällöin räjähdysaineista peräisin olevasta ammoniumnitraatista vapautuu ammoniakkia, joka on jo melko pienissä pitoisuuksissa vaarallista vesieliöille.

Typen poistaminen vedestä vaatii erillistä biologista käsittelyä. Suomessa on aihetta tutkittu mm. METLA:n vetämässä KAIRA hankkeessa (Mattila *et al.* 2007). Tutkimuksen perusteella typenpoisto vesistä on mahdollista, mutta se edellyttää kiintoaineen poistoa ennen typen poistoa. Typenpoistomenetelmä on monimutkainen ja kallis prosessi, minkä vuoksi se ei ole kaivosteollisuudessa vielä yleisessä käytössä. Typenpoisto kuivanapitovesistä perustuukin nykyisin pääasiallisesti vesien kierrättämiseen rikastushiekka-alueiden kautta, jolloin tyyppi poistuu vedestä pitkän viipymän aikana etenkin, jos veden pH on jätealueella riittävän korkea. Normaalisti typen pidättymisen jätealtaalla on 50–60 %.

6.2.2.3

Rikastuksen vesipäästöt

Rikastusprosessin kokonaispäästöt vesiin koostuvat ulos juoksutetusta vesimäärästä ja veden sisältämistä alkuainepitoisuuksista. Päästöjä voidaan pienentää vähentämällä juoksutettavan veden määrää ja/tai tehostamalla veden puhdistusta. Paras ympäristökäytäntö on lisätä veden sisäistä kierrätystä ja vähentää tuoreveden ottoa. Puhdistettavien vesien määrää vähentää myös kaivosalueen puhtaiden valumavesien (tai kaivosalueelle tulevien luonnon vesien) erottaminen likaisista vesistä.

Veden kierrätykseen voidaan käyttää sekä puhdistettua prosessivettä että myös louhoksen kuivanapitovettä. Esimerkiksi rikastushiekka-altailla selkeytettyjä jätevesiä kierrätetään takaisin malmin prosessointiin. Vettä voidaan kierrättää prosessissa myös ”sisäisenä” kierrätyksenä sellaisista prosessivaiheista, joiden vesi soveltuu laadultaan rikastusprosessissa käytettäväksi. Näitä vesiä voivat olla esimerkiksi saakeuttimien ylitevesi, suodattimien suodosvesi ja jäähdytysvedet. Vaihtoehtoisesti tai rinnan prosessivesien kierrätyksen kanssa osa tuorevedestä voidaan korvata louhoksesta pumpattavalla kuivanapitovedellä joko suoraan laskeutuksen jälkeen, tai laskeutuksen ja yksinkertaisen kemiallisen käsittelyn jälkeen (esim. metallien saostus, vrt. Taulukko 34, luku 6.2.2.1 ja Kuva 42, luku 8.3.3.2).

Kierrätyksen lisäksi jätevesipäästöjen vähentäminen voi edellyttää prosessivesien kemiallisen puhdistuksen tehostamista. Puhdistukseen liittyy useimmiten esimerkiksi pH:n säätöä ja metallien saostamista, jotta lupamääräysten tai muiden asetettujen tavoitteiden mukaiset päästö- ja pitoisuusrajat täyttyvät ennen vesien johtamista

vesistöön. Luvussa 6.2.2.1 on kuvattu tarkemmin vesien käsittelyyn soveltuvia menetelmiä (ks. myös Kuva 42, luku 8.3.3.2).

Sulfidimalmeja käsiteltäessä jätevesi sisältää usein raskasmetallien ohella myös sulfaattia. Sulfaattipitoisuutta voidaan jossain määrin vähentää kalkkisaostuksella (muodostuu kipsiä, Ca-sulfaattia). Tätä tehokkaampia sulfaatin poistomenetelmiä ovat sulfaatin saostaminen bariumsulofalla tai nostamalla jäteveden pH:ta ja saostamalla sulfaatti alumiinioksidilla (ettringiittisaostaminen, Taulukko 34a). Uudempaa tekniikkaa edustaa kalvosuodatus perustuvat puhdistusmenetelmät (käänteis-osmoosio / nanosuodatus, ks. luku 8.3.3.2). Sulfaatin poistoon voivat soveltua myös biologiset menetelmät kuten sulfaatin saostaminen metallisulfideiksi sulfaattia pelkistävillä bakteereilla (tai pelkistämällä rikkivedyksi).

Jätevedet voivat sisältää myös hapenkulutusta lisääviä, talviaikaan hitaasti haptuvia yhdisteitä (esim. rikkiyhdisteitä, kuten tiyohdisteet ja rikkivety). Niiden haptumista tehostetaan erityisesti talvisin joko mekaanisilla ilmastuslaitteilla (vastaavilla kuin asumajätevesien käsittelyssä) tai haptavilla kemikaaleilla (esim. vetyperoksidilla, H_2O_2). Haptavien kemikaalien käyttö on kuitenkin huomattavasti ilmastusta haasteellisempaa sekä prosessin säädön että turvallisuuden kannalta. Kesäaikaan lämpimät vedet ja pitkä viipymäaika altaalla ovat yleensä riittäviä yhdisteiden hapttamiseksi (esim. raudan saostaminen). Haptumista voi seurata pH:n lasku ja sen myötä kalkituksen tehostaminen (tai lipeän lisäys).

Mikäli prosessissa käytetään kemikaaleja, jotka voivat aiheuttaa erityistä vaaraa ympäristölle tai terveydelle, poistetaan ne kemiallisesti ennen vesien johtamista ympäristöön. Esimerkiksi kulan rikastuksessa käytettävästä natriumsyanidista peräisin olevan syanidi voidaan poistaa kemiallisesti mm. alkalisella kloorauksella, otsonihaptuksella, vetyperoksidihaptuksella tai rikkidioksidi-ilma haptuksella (Inco-prosessi, lisätietoja EC 2009 ja INAP 2009).

6.2.3

Kaivannaisjätealueiden päästöjen vähentämistekniikat

Eri jätejakeiden, sivukivien, rikastushiekan ja sakkalietteiden kemiallisten ja fysikaalisten ominaisuuksien tunteminen on lähtökohtana kaivannaisjätteiden päästöjen vähentämiseen ja niiden ympäristövaikutusten ennaltaehkäisyyn. Tämä ohjaa keskeisesti läjitysalueiden suunnittelua. Jätealueiden päästöjä vähentävät merkittävästi läjitysalueiden pohjarakenteiden tiiveys sekä läjityksen veden ja siihen satavan veden keräys ja riittävän tehokas puhdistaminen. Toiminnan aikana ympäristövaikutusten vähentämistekniikat kohdentuvat erityisesti läjitysalueiden pölyämisen estämiseen sekä valumavesien keräämiseen, kiintoaineksen poistoon vesistä sekä vesien kemialliseen puhdistukseen. Läjitysalueiden valumavesien laadun parantamisessa on tärkeää jätteen kemiallisen muutunnan (mineraalirapautuminen) estäminen tai hidastaminen sekä haitallisten prosessikemikaalien hallittu käyttö ja tarvittaessa hajotus (esim. syanidi) ennen vesien johtamista jätealtaiisiin tai jätealtaista eteenpäin.

Toiminnan aikana kemiallista muutuntaa vähentää jätealueiden peiton rakentaminen alueilla, joissa läjitys on jo päättynyt. Tällä on merkitystä myös suotovesien määrän vähentämiseen ja laadun parantamiseen. Jätteen pitäminen veden alla tai vesikylläistisenä hidastaa myös kemiallista muutuntaa. Tiiviillä peitolla tai vesipeitolla voidaan estää / hidastaa jäteaineksen sisältämien rautasulfidien haptumista ja sen myötä happamuuden kasvua ja haitallisten alkuaineiden liukenemista (ks. Kuvat 40 ja 41, luku 8.3.2.1). Sulfidihaptumiseen liittyvien happamien valumavesien muodostumista voidaan estää myös läjitystekniikan ja läjitysalueen pohja- ja patorakenteiden valinnalla. Taulukossa 35 esitetyt hapon muodostuksen ennaltaehkäisyteknikat perustuvat hapen kulkeutumisen estämiseen läjitykseen tai jätekivien sulfidimine-

raalipinnoille (vrt. Taulukko 43, luku 8.3.2.2). Vaihtoehtoisesti hapon muodostusta voidaan vähentää lisäämällä jätteen neutralointikapasiteettia tai vähentämällä jätteen rautasulfidipitoisuutta.

Taulukko 35. Jätteen läjityksen suunnittelussa ja toiminnan aikana sovellettavia hapon muodostuksen ehkäisy menetelmiä. (EC 2009, Tremplay & Hogan 2001, Räisänen 2005)

Hapon muodostumisen ehkäisy menetelmät	Menetelmän periaate ja soveltuvuus eri jätetyypeille
Vesipeitto	Jäte läjitetään vesikylläisenä tai läjitetään vesialtaaseen; jätettä peittävä vesikerros estää hapon diffuusion jätteeseen (hapon diffuusio vedessä on 10^4 kertaa pienempi kuin ilmassa), soveltuu rikastushiekalle ja sakkalietteelle
Pastapeitto	Peitto vettäpidättävällä (10^{-7} - 10^{-8} m/s), hienorakeisella kivi- jauheella tai hienoaainespitoisella rikastushiekka-aineksella (pastalla) hidastaa/estää hapon kulkeutumisen jätteeseen. Soveltuu rikastushiekalle ja sivukiville. Esim. Luikonlahden rikastushiekka-altaan magnesiittijätehiekka-peitto (≥ 2 m)
Sijoitus maanalaisiin kaivosonkaloihin	Jäte sijoitetaan maanalaisia onkaloita tukevana täyttönä. Soveltuu karkearakeiselle rikastushiekalle (kovettuva pasta- täyttö)/sivukiville; esim Pyhäsalmen kaivos
Sijoitus louhokseen (vesitäyttö)	Jäte sijoitetaan avolouhoksen osaan, jossa louhinta on päät- tynyt tai sijoitetaan vedellä täyttyneeseen suljettuun louhok- seen. Louhostäyttö jää veden peittämäksi tai peitetään mo- reenilla ja vedellä (märkäpeitto). Soveltuu sivukiville (happoa- tuottaville, ei-happoatuottaville) ja niiden sekaan läjitettävälle, neutraloivalle rikastushiekalle (Blending /Layering).
Rautasulfidien poisto (depyritisaatio)	Jätteestä poistetaan kokonaan tai osittain rautasulfidit ennen sijoitusta läjitysalueelle. Sulfidien poisto vähentää jätteen hapontuottopotentiaalia. Soveltuu rikastushiekalle.
Valikoiva lajittelu	Jäte lajitellaan ennen sijoitusta neutralointikykyisiksi ja happoa muodostaviksi jättejakeiksi, jotka sijoitetaan erillisille läjitys- alueille, mikä vähentää potentiaalista ympäristövaikutusten pinta-alaa. Soveltuu rikastushiekalle.
Sekäläjäitys	Jätteiden lajittelu ympäristökelpoisuuden mukaan. Happoa muodostava jätejake kapseloidaan neutralointikykyisen (karbo- naattimineraalipitoisen) jättejakeen sisälle. Soveltuu sivukiville maan päälliseen läjitykseen tai louhostäyttöön.
Patorakenteiden / pohjarakenteiden tiiveys	Läjitysalueen pohja- ja patorakenteiden riittävä tiiveys estää hapellisen pohjaveden kulkeutumisen läjityksen alta / sivuilta. Patorakenteiden tiiveys (märkäpuoli) hidastaa hapon kulkeu- tumisen tuulivirtausten mukana luiskan läpi jätteeseen. Tiivisrakenteet soveltuvat potentiaalisesti happoatuottaville ja/tai haitallisia aineita sisältäville sivukiville, rikastushiekalle ja sakkalietteelle.
Reaktiivinen pohjarakenne	Reaktiivisten pohjarakenteiden käyttö perustuu niiden kykyyn neutraloida (emäksinen pohjamateriaali) happamia tai heikosti happamia valumavesiä tai niiden kykyyn sitoa haitta-aineita (tiivistyvä turve, paksuus vähintään 0,3 m).
Kemikaalilisäys, neutralointi- kyvyn lisääminen	Jättejakeeseen lisätään kalkkia ennen läjitystä. Soveltuu rikastushiekalle ja sakkalietteelle.

6.2.3.1

Jätealueiden pölypäästöt

Rikastushiekka-altaalta tuulen mukana leviävien pölypäästöjen torjumiseksi rikastus- hiekka pidetään toiminnan aikana kosteana tai sen pinnalle suihkutetaan kalkkimai- toa tasaiselle alueelle. Kalkkimaitoa käytetään erityisesti kuivuneilla alueilla, joissa se muodostaa rikastushiekan pintaan kovan kerroksen estäen siten jätteen pölyämisen.

Kalkkimaitokuori ei kuitenkaan kestä mekaanista rasitusta eikä myöskään säily talvikauden yli, joten käsittely on uudistettava keväisin. Rikastushiekan kosteutta säädellään läjitysteknisin keinoin tai pitämällä altaan vesitila mahdollisimman laajana, patoturvallisuuden vaatimukset huomioiden.

Jätealaiden patopenkkojen pölyämistä voidaan vähentää louhevuorauksella tai kasvittamisella, esimerkiksi heinäsiementen kylvöllä. Louhevuorausta tehdään sitä mukaa, kun penkan korkeus kasvaa. Penkkojen peittäminen kasvillisuudella voidaan aloittaa jo toiminnan aikana.

Sivukivikasojen pölypäästöjä vähennetään peittämällä ja kasvittamalla kasoja jo toiminnan aikana niiltä alueilta, joissa läjitys on jo päättynyt. Sivukivikasoi-
stai-
heutuvia pölypäästöjä voidaan myös vähentää pienentämällä loppusijoitettavien sivukivien määrää käyttämällä ympäristökelpoisia sivukiviä kaivosalueella tai sen ulkopuolella maanrakentamisessa tai louhostiloissa kaivostäyteenä.

6.2.3.2

Jätealueiden vesipäästöt

Jätealueiden vesipäästöjen vähentäminen kytkeytyy prosessivesien käyttömäärien vähentämiseen, allasvesien kierrättämiseen takaisin prosessiin ja jätealueiden ympäristövesien hallintaan (ks. luku 6.2.2). Jätealueelta ympäristöön hajakuormituksena leviäviä päästövesiä voidaan vähentää rakentamalla läjitysalueen pohjarakenteet tiiviiksi ja keräämällä hallitusti läjitysalueen suoto- ja valumavedet puhdistuslaitteille. Tiivispohjaisella jätealtaalla patojen tiivisrakenne vähentää merkittävästi altaasta suotautuvien vesien määrää (altaan vesien hallinta esim. dekanterikaivon kautta).

Jätealueen sijoituksella voidaan vaikuttaa päästöjen leviämiseen. Jätealueet voidaan esimerkiksi sijoittaa kohteisiin, joissa läjityksen valumavedet voidaan ohjata hallitusti puhdistettavaksi (topografinen sijainti; maaperäolot). Puhdistettavia valumavesimääriä voidaan vähentää myös ohjaamalla ympäristön puhtaat luonnonvedet jätealueiden ohi. Ennalta-arvaamattomien vesipäästöjen haittojen vähentämiseksi on hyvä suunnitella varoaltaita tai patorakenteita päästöjen leviämisen estämiseksi. Ennalta-arvaamattomia päästöjä voi syntyä esimerkiksi tulvatilanteessa tai pato- tai keräysjojavallien sortumien yhteydessä.

Mahdollinen pohjavesien pilaantuminen voidaan parhaiten estää sijoittamalla jätealueet (rikastushiekka, sakkaliete) tiivistyväälle maaperälle tai rakentamalla tiivis pohja- ja patorakenne (ks. luvut 5.4.3.1 ja 5.4.4.1). Kaivannaisjätteiden sijoittaminen maanalaisiin kaivosonkaloihin ja/tai käytöstä poistettuun avolouhokseen (tai avolouhososaan) vähentää maanpäällisten jätealueiden maa-alatarvetta ja siten myös vesipäästöjä. Sivukivikasojen osittainen maisemointi ja peitto jo toiminnan aikana vähentävät myös vesipäästöjen määriä ja osaltaan voivat parantaa valumavesien laatua, varsinkin, jos peittorakenne tehdään heikosti vettä läpäisevästä materiaalista (ks. Taulukko 35).

6.2.3.3

Kaivospatojen vesi- ja pölypäästöt sekä patovaurioiden ennaltaehkäisy

Jätealueelta padon läpi tai ali pintavesiin suotautuvat vedet kerätään hallitsemattomien päästöjen estämiseksi talteen ympärysojilla ja ohjataan käsittelyyn tai pumpataan takaisin altaaseen. Potentiaalisesti happoa tuottavien ja/tai haitta-aineita sisältävien jätteiden padot rakennetaan tiiviiksi, mikä estää jätevesiä suotautumasta maaperään ja pohjaveteen patoalueelta (ks. luku 5.4.4.1). Patoalueiden pölyämistä estetään peittämällä (louhe, moreeni) ja kasvittamalla patoluiskat toiminnan aikana alueilla, joissa se on jo mahdollista. Tärkeää on myös laatia varotoimenpidesuunnitelmat sään ääriolojen varalta.

Taulukossa 36 on esitetty patojen vauriotyyppejä ja vaurioiden muodostumisen ehkäisykeinoja. Patovauriot voidaan jakaa kolmeen päätyyppiin: ulkoinen eroosio,

sisäinen eroosio ja liukusortuma. Padon vaurio ei useinkaan johdu vain yhdestä syystä, vaan se voi olla useiden eri tekijöiden seuraus.

Taulukko 36. Patojen vauriotyypit ja ehkäisykeinot.

Vauriotyyppi	Vaurion laatu ja syy	Vaurion ilmenemistapa	Vaurion ehkäisy
Sisäinen eroosio	Hallitsematon suoto- virtaus padon läpi	Painumat harjalla	Toimivat suodatin- ja kuivatusrakenteet
	Puutteellinen suodatin- rakenne	Kraaterit	Läpivientien oikean- lainen ympäristäytty/ tiivit laipparakenteet
	Läpiviennin väärän- lainen rakenne		Riittävä routamitoitus
	Routiminen		
Ulkoinen eroosio	Altaan ylitäyttö	Ylivuoto	Suurempi kuivavara
	Rikastushiekkaputken rikkoutuminen	Eroosio luiskissa	Luiskaverhous paksumpi ja karkeammasta mate- riaalista
	Aallokko	Uudet veden kulkeutumis- reitit	Pinnan sitominen esim. kasvillisuudella, päällys- tämällä tai kastele- malla
	Sateiden ja sulamis- vesien aiheuttamat tulvat		
	Kuivatusjärjestelmien tukkeutuminen esim. tuulierooosion vuoksi		
Liukusortuma	Liian jyrkät luiskat	Alapuolinen maanpinta alkaa kohota	Loivemmat luiskat
	Liian korkea suotovesi- tai pohjavesipinta	Liukupintasortuma	Vastapenger
	Liian nopea rakenta- minen ja riittämätön tiivistäminen		Tehokkaat kuivatus- järjestelyt

6.2.4

Melupäästöt ja tärinä

Meluntorjuntatoimet voidaan jakaa melupäästöjen vähentämiseen ja äänen etenemisen estämiseen sekä yksityiskohtaiseen ja ennakoivaan suunnitteluun. Melun torjunnan suunnittelua on tärkeää jatkaa koko kaivoksen elinkaaren aikana.

Melupäästöjä voidaan vähentää (ks. myös Taulukko 37)

- huoltamalla laitteistoja säännöllisesti, koteloimalla ja suojaamalla melua tuottavia laitteita.
- rakentamalla meluvalleja. Rakentamisessa tulee hyödyntää pintamaita tai varastokasoja, jotka eivät aiheuta ympäristöhaittaa.
- ymmärtämällä melupäästöjen leviämisen luonne ja suunnittelemalla toiminta melua vähentäväksi esim. sijoittamalla murskaus- ja seulontatoiminnot maan-
alaiseen kaivokseen tai osittain maan alle, sijoittamalla melua tuottavat laitteet lähelle toisiaan ja matalalle tasolle muuhun maanpintaan nähden (vähentää myös vaikutusalueen laajuutta), pitämällä rikastamon ja murskaamojen ovet kiinni.
- valitsemalla louhintasuunta niin, että toiminta jää asutukseen nähden louhintarintauksen taakse.

- jättämällä louhimattomia seinäkkeitä melusteiksi asutuksen suuntaan.
- jättämällä puustoa ja kasvillisuutta kaivosalueen reunoille tai melupäästökoh-
teiden ympäristöön.
- rajoittamalla räjäytysten panoskokoja ja vaiheistamalla panostus sekä opti-
moimalla räjähdemikaalien määrää.
- ilmoittamalla räjäytyksestä ennakkoon ja painottamalla räjäytykset tiettyihin ja
mahdollisimman samoihin ajankohtiin päivistä. Räjäyttäminen aiheuttaa voi-
makkaan, mutta lyhytkestoisen melun ja siten ennakkotieto vaikuttaa positiivi-
sesti haitankärsijöiden asenteisiin.
- kuljetusreittien suunnittelulla ja ajoittamalla kuljetukset sellaisiin vuorokauden
aikoihin, jolloin häiriöt ovat mahdollisimman vähäiset.

Uudenmaan ELY-keskus ylläpitää meluntorjunnan tietojärjestelmää, johon on mah-
dollista tallentaa eri toiminnoista tehtyjä melutilanneselvityksiä, esimerkiksi maan-
käytön suunnitteluun, ympäristölupamenettelyyn ja YVA-hankkeisiin liittyviä sel-
vityksiä. Tietojärjestelmään voidaan tallentaa laskennallisesti ja mittauksin tehtyjä
meluselvityksiä sekä merkitä järjestelmään melua aiheuttavien toimintojen sekä
melusteiden sijainteja. Tietojärjestelmän tavoitteena on tehostaa meluselvitysten
hyödyntämistä palvelien eri käyttäjäryhmiä (Laurila & Hakala 2010). Lisätietoja tieto-
järjestelmästä on saatavilla Valtion ympäristöhallinnon internetsivuilta (Uudenmaan
ELY & Ympäristöministeriö 2011).

Louhinnasta aiheutuva tärinä ei pystytä täysin poistamaan, mutta oikeilla toi-
mintatavoilla sen haitat voidaan minimoida. Räjäytyksistä ympäristöön leviävää
tärinää voidaan pienentää oikealla työn suorituksella ja räjäytysten suunnittelulla.
Tärinää voidaan vähentää (ks. myös Taulukko 37)

- louhintasuunnan valinnalla,
- huomioimalla kallioperän ominaisuudet,
- räjähdysaineen valinnalla,
- suunnittelemalla panosten ajoitukset kallion jännitys- ja värähtelytilan mukai-
sesti (lyhythidastenallit),
- pienentämällä reikäpanoksia ja keventämällä panostusastetta tai pienentämällä
räjäytettävän kentän kokoa (sytytysjärjestys, pieni momentaaninen räjähdysai-
nemäärä),
- hyvällä porauksen hallinnalla.

Taulukko 37. Esimerkkejä melun ja tärinän vähentämistoimenpiteistä Suomessa toimivilla metalli-
kaivoksilla.

Kaivos/tuotantolaitos	Toimenpiteitä melun ja tärinän vähentämiseksi
Kittilän kaivos	Tilapäinen murskaustyö tehdään läjitysalueiden takana.
	Murskauksen meluntorjunta rakenteellisin ratkaisuin.
	Tutkitaan mahdollisuuksia vähentää jauhatuksen melua rakenteellisin ratkaisuin.
	Meluvalli avolouhokselta malmivarastolle sekä malmivaraston asutuksen puolella kuljetus- ja lastausmelun vähentämiseksi.
	Meluvalli ilmakaasutehtaan ja toimistorakennuksen välissä prosessi- melun vähentämiseksi.
	Kaivospiirin puuston mahdollisimman maksimaalinen säilyttäminen.
Jokisivun kaivos	Maanpoistomassoista ja sivukivestä on rakennettu louhoksen ympärille meluvalli.

Energiankulutus

Kaivostoiminnassa energiankulutus edustaa niin merkittävää kustannuserää, että energian säästämiseen tähtäävät kehityshankkeet kuuluvat kaivoksilla normaaliin rutiiniin (vrt. Taulukko 38). Energiankulutus on voimakkaasti riippuvainen malmin laadusta ja sen vaatimasta prosessiteknikasta. Jos malmi on kovaa, malmin irrottaminen, murskaaminen ja jauhaminen kuluttavat selvästi runsaammin energiaa kuin pehmeämmän malmin käsittely. Malmin hienonnukseen tarvittavasta energiasta voidaan saada suuntaa-antava käsitys määrittämällä sille ns. Bondin Work-Index, joka kertoo teoreettisen energian tarpeen malmitonnia kohti. Tämä malmikohtainen teoreettinen arvo asettaa jossain määrin rajoituksia sille, miten pitkälle energian säästämässä voidaan päästä.

Hienonnuksessa energiankulutusta voidaan kuitenkin pyrkiä optimoimaan mm. seuraavilla toimenpiteillä:

- Murskaus- ja jauhatusprosessin optimointi. Murskaus kuluttaa energiaa malmitonnia kohden huomattavasti jauhatusta vähemmän tiettyyn rajaan asti (n. 10 mm). Erityyppisillä murskaimilla on optimitoiminnan kannalta tietty murskaussuhde (esim. leukamurskain 3–7, kartiomurskain n. 6), jonka ylittäminen voi johtaa huomattaviin kunnossapitokustannuksiin. Tämän vuoksi on murskausvaiheita lisättävä, jos tuotteen hienoutta lisätään. Myös seulontavaiheita on tällöin lisättävä. Laitteiden lisääntyessä myös energian tarve lisääntyy. Hienonnuksen suunnittelu onkin haastava optimointitehtävä, jossa energiankulutus on tärkeä, mutta ei suinkaan ainoa kriteeri.
- Murskauspiiriin valitaan mahdollisimman hyvällä hyötysuhteella toimivat laitteet, joiden kapasiteetti ja murskaussuhde ovat oikealla alueella eikä ”tyhjäkäyntiä” esiinny.
- Jauhatuspiirin suunnittelulla ja menetelmän valinnalla pyritään saavuttamaan mahdollisimman hyvä läpimeno-kapasiteetti energiankulutukseen nähden. On kuitenkin huomattava, ettei energiankulutus ole ainoa suunnittelukriteeri. Myös kunnossapitokustannukset ja tarveaineiden kulutus (esim. jauhintangot ja -kuulat) voivat olla kaivoksen kannalta merkittäviä kustannustekijöitä. Myös jauhatuspiiriin yleisesti liittyvien muiden laitteiden (esim. luokittimien) toiminnan suunnittelussa pyritään piirin tehokkaaseen toimintaan.

Rikastusprosessissa monivaiheinen ja useampia rikasteita tuottava prosessi vaatii luonnollisesti yksinkertaista prosessia enemmän energiaa. Tässäkin on rikastusprosessin ja siihen liittyvien laitteiden suunnittelulla oleellinen merkitys energiankulutusta ajatellen. Suunnittelussa pitäisi huomioida mm. seuraavia seikkoja:

- Valitaan energiatehokkaita laitteita (moottorit, pumpput, taajuusmuuttajaohjaus).
- Optimoidaan laitteiden koko/määrä. Kun yksiköiden koko kasvaa ja lukumäärä vähenee, alenee energiankulutus käsiteltävää tonnimäärää kohti. Kokoa ei kuitenkaan voi kasvattaa rajattomasti prosessin toiminnan häiriintymättä, vaan kysymys on optimoinnista energiankulutuksen ja prosessin toiminnan välillä.
- Suunnitellaan malmin prosessointi mahdollisimman yksinkertaiseksi.
- Valitaan energiatehokkaita rikasteiden kuivauslaitteita. Yleensä esim. painesuodatus kuluttaa vähemmän energiaa kuin perinteinen kiekkosuodatus ja kuivausrumpu. Keraaminen suodatin kuluttaa edelleen energiaa vähemmän kuin kiekkosuodatin tai painesuodatin. Valintaa ei voida kuitenkaan aina tehdä energiankulutuksen perusteella, koska eri laitteilla on esim. käsiteltävän rikasteen hienouden suhteen erilainen optimitoiminta-alue. Rikasteen loppukosteudelle asetetut vaatimukset vaikuttavat myös menetelmän ja laitteiden valintaan.

Vanhoilla kaivoksilla, joissa prosessit on suunniteltu ja rakennettu usein vanhemmalla ja vähemmän energiatehokkaalla tekniikalla, energianäkökulma tulee huomioitavaksi laitteistoja uusittaessa. On myös suositeltavaa tehdä perusteellinen energiaselvitys, jossa

- kartoitetaan tarkasti nykyinen energiankulutus,
- selvitetään mahdolliset ”energiahukat” (esim. paineilmaverkoston vuodot ym.) ja
- kartoitetaan kohteet, joissa energian säästöä voidaan saavuttaa tarvittaessa prosessin tai laitteistojen muutoksilla.

Taulukko 38. Esimerkkejä kaivostoiminnan energiatehokkuuden parantamisesta.

Kaivos/tuotantolaitos	Toimia energiatehokkuuden parantamiseksi
Kemin kaivos	Malmin kuljetus minimoidaan tasoväleillä
	Ominaispanostusta pyritään pienentämään räjäytyskaasujen vähentämiseksi
	Maanalaisen kaivoksen ominaisenergian kulutus on pienentynyt, koska jauhautuminen kaatonousuissa on lisääntynyt suuremman pudotuskorkeuden takia
	Rikastamon sähkön ominaiskulutus on pienentynyt lähinnä parantuneen erotustehokkuuden takia, mikä on nostanut kapasiteettia
Pyhäsalmen kaivos	Energiaselvitys/kartoitus tehty
	Kuivausrummun korvaaminen painesuotimilla
	Kaivoksen pumppausveden lämmön hyväksikäyttö kaivoksen tuuletusilman lämmityksessä
Kevitsan kaivos	Taajuusmuuntimet, nesteresistanssikäynnistimet jne. käytössä suurten pumppujen nopeuden säätämiseksi, kuljettimien käynnistämiseksi ja jauhinkyntien käyttöolosuhteiden optimoinnissa
	Valitut pienjännitemoottorit täyttävät kaikilta osin hyötysuhdeluokan IE2 ja suurimmaksi osaksi myös hyötysuhdeluokan IE3

6.3

Päästöjen vähentäminen toiminnan päättymisen jälkeen

Toiminnan päätyttyä kaivosalueelle jäävistä rakenteista (jätealueet, louhostilat) aiheutuvia päästöjä ilmaan ja vesiin vähennetään jälkihoitotoimilla, esimerkiksi jätealueiden peittämällä ja vesien käsittelyllä. Jälkihoitotoimenpiteiden ensisijaisena tavoitteena tulee olla päästöjen muodostumisen estäminen, ja toissijaisena päästöistä aiheutuvan kuormituksen vähentäminen (ks. luku 8.4). Tehokkain keino toiminnan jälkeisten päästöjen vähentämiseksi on huomioida sulkemistoimenpiteet jo kaivoksen suunnittelu- ja rakentamisvaiheessa, esimerkiksi jätealueiden ja louhinnan suunnittelussa (ks. luku 8.3.2).

6.3.1

Kaivannaisjätealueiden päästöt

Toiminnan päätyttyä jätealueiden päästöt muodostuvat läjitysalueen valumavesistä ja kuivuneiden, hienojakoista materiaalia sisältävien pintojen pölyämisestä. Jätealueilta muodostuvien päästöjen määrää vähennetään erilaisilla peittoratkaisuilla (ks. luvut 6.3.1 ja 8.4.1.1) ja jo kaivoksen rakentamisvaiheessa tehtävillä jätealueiden rakenteellisilla ja/tai läjitysteknisillä ratkaisuilla (ks. luku 8.3.2). Päästöjä voidaan tehokkaimmin vähentää valitsemalla sellainen peittorakenne, joka sekä hidastaa jätteen kemiallista

ja fysikaalista rapautumista (muutunutta) että estää jätealueen pölyämistä ja myös vähentää valumavesien määrää (ks. Taulukko 35, luku 6.2.3).

Jätteen kemiallisella tilalla (rapautumisella) on merkittävä vaikutus jätealueelta suotavien vesien laatuun, joten peitoilla voidaan vaikuttaa myös vesipäästöjen laatuun. Peittojen lisäksi jätealueiden vesipäästöjen vähentäminen edellyttää usein erillistä suoto- ja valumavesien puhdistamista. Vesien puhdistamiseen soveltuvat aktiiviset tai passiiviset menetelmät, tai niiden yhdistelmät (ks. Taulukko 34, luku 6.2.2.1 ja Kuva 42, luku 8.3.3.2). Toiminnan jälkeen vesien käsittelyssä on hyvä käyttää mahdollisuuksien mukaan passiivisia menetelmiä, koska ne vaativat vähemmän jatkuvaa ylläpitoa ja kuluttavat vähemmän energiaa kuin aktiiviset menetelmät.

Laajoilla jätealueilla pölypäästöjen vähentäminen alkaa usein jo toiminnan aikana suljettujen läjitysalueiden peittämisellä ja kasvittamisella, joita jatketaan läjityksen



Kuva 36. Luikonlahden vanha kaivosalue ennen (ylempi) ja jälkeen kunnostuksen (alempi).
(Kuvat M. L. Räisänen)

päätyttyä koko jätealueen kattavaksi. Tiheä kasvillisuus vähentää tehokkaasti pölyämistä (sivukivikasat, rikastushiekka-altaat) samoin kuin hienojakoisen aineksen peittäminen kokonaan vedellä (rikastushiekka-allas, jätesakka-altaat). Tiiviillä peittorakenteilla voidaan vähentää suotovesien määrää ja vaikuttaa mahdollisesti myös suotovesien laatuun. Jätteiden hapontuottoa voidaan parhaiten vähentää vesipeitolla, joka voidaan toteuttaa tiivispohjaisissa ja padoiltaan vakaissa jätealtaissa tai louhostiloihin tai avolouhokseen sijoitetulle jäteainekselle. Laajojen, moniosaisten läjitysalueiden peittäminen (jälkihoito) alkaa jo toiminnan aikana ja siten peittorakenteen toimivuudesta saatuja seurantatietoja voidaan käyttää lopullisessa sulkemisvaiheessa peittorakenteiden parantamiseen ja mahdollisesti vesipäästöjen puhdistuksen tehostamiseen.

Jätealueiden peittorakenteita on kuvattu luvun 8.4.1.1 taulukoissa 48 (kuiva peitto, esimerkkinä Kuva 36) ja 49 (vesipeitto, Kuva 41, luku 8.3.2.1). Kuivapeittorakenne voi koostua yhdestä maa-aineskerroksesta tai useamman maa-aineksen ja/tai synteettisen materiaalin kerrosrakenteesta. Kuivapeittorakenteen ominaisuuksien ja paksuuksien valinnalla voidaan vaikuttaa läjitykseen imeytyvän veden määrään ja siten suotovesien määrään. Monikerrosrakenteella, jossa on yhtenä osana tiivis kerros, vähennetään parhaiten suotovesien ja mahdollisesti myös puhdistettavien vesien määrää. Rakenteiden valinnassa ja suunnittelussa on huomioitava jätteen kemiallisessa muutunnassa mahdollisesti syntyvät kaasut ja/tai lämpöreaktiot (lämpölaajeneminen). Tiivis peittorakenne voi aiheuttaa myrkyllisten kaasujen muodostumista (H_2S , CO_2) jätealueella ja niiden kulkeutumista esimerkiksi näytteenottokohteisiin, jotka on sijoitettu penkköjen läheisyyteen (KT ry 2006). Tämä seikka on huomioitava jo suunnitteluvaiheessa työturvallisuusriskinä.

Vesipeitto soveltuu sellaisten rikastushiekka-aitaiden jälkihoitoon, joissa on tiiviit pato- ja pohjarakenteet (ks. luvut 8.3.2.2 ja 8.3.2.3). Rautasulfidien hapettumista ja sitä seuraavaa haitallisten aineiden liukenemista sivukivistä estetään tai hidastetaan tehokkaimmin sijoittamalla sivukivet louhokseen ja peittämällä täyttö riittävän paksulla vesikerroksella (lisätietoja Tremblay & Hogan 2001, EC 2009, INAP 2009, Eriksson 2001). Vesipeiton tehokkuus perustuu hapen hitaaseen liukenemiseen ja kulkeutumiseen (diffuusioon) vedessä verrattuna ilmaan. Vesi- ja märkäpeittomenetelmiä on kuvattu yksityiskohtaisemmin luvun 8.4.1.1 taulukossa 49.

6.3.2

Louhosten vesipäästöt

Toiminnan päätyttyä kuivanapitopumppauksen lopettamisen ja siitä aiheutuvan louhoksen täyttymisen seurauksena louhoksesta voi aiheutua vesipäästöjä kalliorakoja tai vettä johtavia maaperäkerroksia pitkin ympäröiviin pohjavesiin tai ylivuotona alueen pintavesiin. Päästöjä pohjavesiin voidaan estää tukkimalla hyvin vettä johtavat ruhjeet ja raot, tai rakentamalla maanalaiseen louhokseen hydraulisia sulkuja (esim. kaivosperiin tai ajotunneleihin) ennen kaivoksen täyttymistä vedellä. Suluilla voidaan ohjata veden virtauksia siten, että sulfidirikkailta alueilta tulevat happamat metallipitoiset vedet erotetaan puhtaammista vesistä – ja samalla kontrolloidaan vesien purkautumista ympäristöön. Maanalaisessa louhoksessa vesien purkautumiskanavia voidaan ohjata myös tukkimalla sellaiset kaivokseen johtavat kulkuväylät tai aukot, joista ylivuotovesien ei haluta purkautuvan. Sulut voidaan rakentaa esimerkiksi betonista. Suluilla edistetään ja nopeutetaan myös louhoksen täyttymistä vedellä (INAP 2009). Veden luonnollisten virtausreittien tukkiminen voi johtaa seinämien sortumiin veden paineen nousun myötä tai veden hakiessa uusia virtauskanavia. Sortumien estäminen edellyttää louhoksen seinämien lujittamista toiminnan päätyttyä.

Sulfidimineraalien hapettumisesta aiheutuvien vesipäästöjen muodostuminen toiminnan päätyttyä estetään antamalla louhoksen täyttyä vedellä. Tällöin louhokseen muodostuu vesipeitto, joka estää sulfidimineraalien rapautumisen jatkumisen (ks. luvut 6.3.2 ja 8.4). Vedellä täyttymistä voidaan nopeuttaa esimerkiksi pumppaamalla louhokseen vettä tai tukkimalla hydrauliset johteet edellä mainituilla suluilla (INAP 2009). Toiminnan aikana ja ennen louhoksen täyttymistä louhoksen seinämiin on ehtinyt kertyä sulfidimineraalien hapettumistuotteita, jotka liukenevat veden pinnan nousun myötä heikentäen louhosvesien laatua. Louhoksen teiden ja käytävien pohjalla on myös hienoksi jauhautunutta malmia, josta voi myös liueta vesiympäristölle haitallisia aineita.

Vesikuormituksen vähentämiseksi heikkolaatuisten louhosvesien käsittely tehdään joko *in situ* -menetelmällä tai puhdistamalla louhoksen ylivuotovedet. *In situ* -menetelmällä tarkoitetaan vesien käsittelyä itse louhoksessa. Tavallisimmat *in situ* -menetelmät ovat kemiallinen tai biologinen käsittely. Yleisin kemiallinen menetelmä on alkalinen käsittely, jossa louhosveden happamuutta vähennetään lisäämällä emäkistä ainetta (esim. kalkkia, lipeää), jotta kaivosveden sisältämät liuenneet metallit saostuisivat hydroksideina (INAP 2009). Biologisista menetelmistä tunnetuin on sulfaatinpelkistyksen hyödyntäminen. Menetelmässä luodaan louhokseen bakteereita, orgaanista hiiltä ja ravinteita lisäämällä aktiivinen sulfaatinpelkistäjäbakteerikanta, jonka toiminnan vaikutuksesta sulfaatti pelkistyy sulfidiksi ja liuenneet metallit saostuvat sulfideina. Reaktio nostaa samalla veden alkaliniteettia (esim. Vestola & Mroueh 2008). Muita mahdollisia biologisia menetelmiä on käytetty mm. typen poistoon vähäisiä määriä metalleja sisältäville louhosvesille.

Louhosten ylivuotovesien käsittelyyn soveltuvat vastaavat aktiiviset ja passiiviset menetelmät, joita käytetään toiminnan aikana ja jälkeen myös muiden kaivosalueen valuma- ja suotovesien puhdistukseen (ks. luvut 6.2.2.1 ja 8.4.2). Yhtenä vaihtoehtona louhosvesien käsittelylle on myös ”pumppaa-ja-käsittele” -menetelmä, jossa louhoksen vesi pumpataan puhdistettavaksi erilliseen käsittelylaitokseen. Tällöin vedestä voidaan käsittelyn ohella pyrkiä ottamaan talteen hyödylliset metallit (esim. Lottermoser 2007).

Jos louhos täyttyy vain osittain vedellä, vesipäästöjä voi aiheutua vesipinnan yläpuolelle jäävissä seinämissä tapahtuvasta sulfidimineraalien hapettumisesta. Tällaisessa tapauksessa louhoksen täyttymistä tulisi pyrkiä edesauttamaan tulppaamalla raot, jotka estävät louhoksen täyttymisen ja pumppaamalla sitten vettä louhokseen (INAP 2009).

Sulfidimineraalien hapettumisen estäminen louhoksen seinämissä jo toiminnan aikana vähentää louhoksen vesipäästöjen puhdistamistarvetta toiminnan päättymisen jälkeen. Viime vuosina on kehitetty mm. seinämien passivointimenetelmiä, joissa reaktiivinen kivipinta peitetään kemiallisesti pysyvällä ja suojaavalla pinnoitteella, esimerkiksi permanganaatilla. Menetelmä toimii tehokkaimmin, jos kivipinta on tuore, kun se peitetään. Menetelmä on kuitenkin vasta uusi, eikä sen toimivuudesta ole vielä pitkäaikaista kokemusta (INAP 2009).

Jos louhokseen loppusijoitetaan kaivannaisjätteitä, tulee varmistaa, ettei niistä aiheudu lisäkuormitusta vesiin. Kuormituksen estämiseksi kaivannaisjätteet voidaan esimerkiksi vuorata jättemateriaalia paremmin vettä johtavalla maa-aineksella, jolloin veden virtaus ohjautuu jättemateriaalin sijasta puhtaaseen maa-ainekseen eikä vesi huuhtelee jättemateriaalista haitta-aineita (esim. Lottermoser 2007). Louhokseen sijoitettuja kaivannaisjätteitä peittävän vesikerroksen tulee olla riittävän paksu, ettei happea pääse kulkeutumaan kaivannaisjätteisiin tai ettei louhosvesien sekoittuminen tuulen tai täyskierron vaikutuksesta johda jättemateriaalin sekoittumiseen tai liettymiseen vesipatjaan. Hapen kulkeutumista louhostäyttöön voidaan vähentää peittämällä jäte esim. moreenilla, jonka päälle tulee vesipeitto. Tämä on suositeltavaa varsinkin silloin, kun vesipeitto jää matalaksi (MEND 1995).

Vesipäästöjen vähentämiseksi louhoksesta tyhjennetään kaikki mahdolliset vesien pilaantumista aiheuttavat koneet, laitteet, rakennelmat ja jätemateriaalit (muut kuin loppusijoitetut kaivannaisjätteet), kun toiminta päättyy.

6.4

Sosiaalisten vaikutusten vähentäminen kaivostoiminnan suunnittelun ja toteutuksen aikana

Erityisesti suurten kaivoshankkeiden suunnittelussa törmätään usein vastakkaisiin ja ristiriitaisiin käsityksiin kaivostoiminnasta ja sen vaikutuksista toivottavan alueellisen kehittämisen näkökulmasta. Yhtäältä kaivostoimintaa pidetään järkevänä luonnonvarojen hyödyntävänä teollisena toimintana, joka työllistää ja mahdollistaa alueen elinkelpoisuuden myös tulevaisuudessa. Vastakkainen näkemys pitää parempana luonnon säilyttämistä nykymuodossa ja etenkin itä- ja pohjoisosissa maata erämaisyyden, sekä siihen perustuvien luontaiselinten ja matkailun kehittämistä. Nämä erilaiset mielipiteet tuottavat samasta kaivoshankkeesta varsin erityyppisinä koettuja sosiaalisia vaikutuksia, joihin ei edes asiantuntijatiedolla voida juurikaan vaikuttaa.

Kaivoshankkeiden sosiaaliset vaikutukset muotoutuvat osallisten yksilökohtaisten ja kollektiivisten, usein ristiriitaisten, asenteiden kautta, joiden taustalla vaikuttavat mm. paikalliset kokemukset esimerkiksi malminetsinnän ajalta, tai muut ennakkokäsitykset ja uskomukset. Tiedottamisella ja avoimella vuoropuhelulla voidaan paikallisesti vaikuttaa asenteisiin tai niiden kärjistymiseen, sekä parantaa asenteellista ilmapiiriä ja parhaimmillaan jopa helpottaa hankkeen etenemistä. On olennaista täyttää tietovaje asiantuntijatiedolla ennen kuin se täyttyy muualta saatavalla tiedolla. Julkinen keskustelu mediassa on usein asenteita kärjistävää ja lisää turhia pelkoja.

Kaivosyhtiöiden velvollisuutena voidaan pitää työntekijöiden ja heidän perheittensä elinoloista ja viihtyvyydestä huolehtimista myös työajan ulkopuolella. Sosiaalisesti kestävä kehitys mukaisesti myös laajempia kohderyhmiä hyödyttävä yhteiskuntavastuu voidaan nähdä yhtiön luonnollisena tehtävänä. Yhteiskunnallisten palveluiden kehittämisen tarve on useilla potentiaalisilla kaivosalueilla suuri, jolloin kompensoinnin muodot on perusteltua kohdentaa yleisen palvelurakenteen vahvistamiseen.

Keskeisin lähtökohta haittojen lieventämiselle ja kompensoinnille on kokonaisvaltaisen näkökulman hahmottaminen ja erilaisten intressien yhdistäminen (Taulukko 39). Tulee yhtä aikaa hyväksyä ja ottaa huomioon eri intressiryhmien erilaiset ja usein myös ristiriitaiset tavoitteet. Ratkaisuihin tulee päästä niin, ettei mikään intressitaho kokisi jääneensä kokonaan vaille vaikutusmahdollisuuksia. On haettava muualla toimivia esimerkkejä, kuten mahdollisuuksia haittojen kompensointiin erilaisilla sosiaali- ja terveyssektorin ohjelmilla, koulusektorin tai vapaa-ajan toiminnan tukemista julkisten tai yksityisten palveluidentuottajien kautta. Kompensaatioissa on usein kysymys halusta lähteä avoimeen keskusteluun; paikallisesti toimivia keinoja kompensointioiden toteuttamiseen voidaan vuorovaikutteisen suunnittelun keinoin kyllä löytää.

Haittojen kompensoinnin ja saavutettavien hyötyjen tulee olla luonteeltaan pitkävaikutteisia, muutoin hyödyn saisivat vain juuri tämän hetken osalliset ja pahimmassa tapauksessa haitat jäisivät myöhemmille sukupolville rasisitteiksi ilman korvauksia.

Neuvottelut haitallisista vaikutuksista ja niiden kompensoinnista tulee aloittaa mahdollisimman varhain, koska myöhemmin hankkeen eteneminen helposti huomioi vain konkreettiset korvaukset, eikä enää tunnista esimerkiksi YVA:ssa havaittuja negatiivisia sosiaalisia vaikutuksia. Esimerkiksi jo kaivoshankkeen suunnitteluvaiheessa on olennaista huomioida, erityisesti kaivoksen lähialueen asukkaiden näkökulmasta, alueen elinkelpoisuus ja toimintamahdollisuudet kaivoksen toiminnan

Taulukko 39. Soklin kaivoshankkeessa esitettyjä keinoja haitallisten vaikutusten kompensoinniksi. (Ks. Anttonen 2010)

Kompensaatio	Kompensaatiotoimet
Ekologinen kompensaatio	Kemijoen fosforipitoisuus nousee, joten istutuksia Kemijoen yläosaan pitää lisätä
	Kaikkiin voimalaitoksiin ja patoihin kalatiet ja ohitusuomat
	Nuorttijoki on tärkeä säilyttää mahdollisimman nykytilaisena
Maisemallinen kompensaatio	Erämatkailuun tielinjan valinnoilla saattaa olla merkitystä, kun mennään Nuorttijoenle
	Maisemointi ja nykyisen maiseman huomioiminen
	Linjaamalla kaivosinfra samalle aukolle kylien takamaille, joissa asumisen äänet ja maisemavaikutus helpoimmin sulattavat haitan alueen ominaisuudeksi
Taloudellinen kompensaatio	Paliskunnille vuotuinen rahallinen täyskorvaus
	Porotalouden korvaukset rakenteita rakentamalla
	Tukemalla matkailun kehittämistä Savukosken muissa osissa esim. Kairijoki ja Kemijoki
	Hanke tuo merkittäviä hyötyjä ja ne ovat jo osa kompensatiota
	Panostukset erämatkailun uudelleensuunnitteluun ja markkinointiin
	Porotalouden kompensaatio, lisäruokintaan ja helikopterilentoihin avustuksia
Sosiaalinen kompensaatio	Yhdessä elinkeinonharjoittajien kanssa käydään suunnitelmat läpi ja pyritään löytämään toteutusratkaisut, jotka vähiten haittaavat ko. elinkeinon harjoitusta
	Lieventäviä teknisiä toimenpiteitä niille alueille, joissa porojen reitit häiriintyvät
	Porotalouden kompensaatio lisääntyvän aitaamistarpeen osalle, putkilinjan ylitykseen riittävästi toimivia luiskasiltaratkaisuja
	Avoin keskustelu radioaktiivisten aineiden käsittelystä kaivostoiminnassa
Poliittinen kompensaatio	Jakamalla asiallista tietoa kaivostoiminnasta
	Satsaus infraan

päättymisen jälkeen. Erityisesti on varmistettava mahdollisen pysyvän asutuksen muuntuminen ja käyttökelpoisuus uusiin käyttötarkoituksiin. Asukkaiden toiveina on usein esitetty kaivosalueen jälkikäyttö muuhun elinkeinotoimintaan, esim. matkailuun (vrt. Taulukko 39).

Kaiken kompensaation tulee lähteä vapaaehtoisuudesta ja yhtiön omasta halusta. Hyötyä on hyvin todennäköisesti enemmän kuin aiheutuvia lisäkuluja ja siten toimintamalli kannattaa. Kaivosyhtiö voi esim. määrittää budjettiin prosenttiosuuden, tms. määrärahan sosiaalisten vaikutusten kompensointiin. Alueelle tarvitaan myös toimija, jolla on riittävät oikeudet tehdä yhtiön puolesta ratkaisuja paikallisten asukkaiden kanssa.

Sosiaalisesti kestävä kehityksen mukaisesti YVA:n yhteydessä toteutettu sosiaalisten vaikutusten arviointi tuottaa tietoa kaivoshankkeen eri vaiheissa syntyvistä vaikutuksista kaivoksen vaikutusalueen ihmisten terveyteen, elinoloihin ja viihtyvyyteen. Toisaalta arvioinnin keskeinen tehtävä on vakiinnuttaa kaivoksen toiminta-alueella toimiva vuorovaikutteinen tiedonkulun ja keskustelun prosessi. Sen mukaisesti kaivostoiminnan osapuolet, kaivosyhtiö ja sidosryhmät, ovat motivoituja ja sitoutuneita etsimään yhdessä uusia keinoja kaivostoiminnan myönteisten vaikutusten vahvistamisessa, sekä toimintaan liittyvien kielteisten vaikutusten lieventämisessä ja kompensoinnissa.

Säännöllistä vuoropuhelua kaivosyhtiön ja paikallisten asukkaiden välillä tulee jatkaa koko kaivoksen toiminnan ajan. Näin ylläpidetään luottamuksellisia välejä, saadaan tietoa esiin nousseista tarpeista ja toiveista, sekä voidaan olennaisesti välttää puutteelliseen tietoon perustuvien pelkojen ja väärinkäsitysten syntyä.

7 Toiminnan tarkkailu ja raportointi

Kaivosten toiminnan tarkkailu perustuu lähtökohtaisesti toiminnanharjoittajan selvilläolovelvollisuuteen eli toiminnanharjoittajan on oltava riittävästi selvillä toimintansa ympäristövaikutuksista, ympäristöriskeistä ja haitallisten vaikutusten vähentämismahdollisuuksista (YSL 5 §). Kaivosten tarkkailu jakaantuu rakentamisvaiheen aikaiseen tarkkailuun, toiminnan käyttötarkkailuun, päästötarkkailuun, ympäristövaikutusten tarkkailuun sekä toiminnan jälkeiseen päästö- ja vaikutustarkkailuun. Kaivostoiminnan jälkeistä tarkkailua on kuvattu Kaivoksen sulkemisen käsikirjassa (Heikkinen *et al.* 2005).

Taulukko 40. Esimerkki kaivoksen tarkkailuvelvoitteista. (Mondo Minerals Oy 2008)

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Rakentamisvaiheen aikainen tarkkailu													
Purkuvesistön laatu													
Päästötarkkailu													
Tehtaan prosessivedet ja sivukivialueen suotovedet													
Jätevesien toksisuus													
Ilmapäästöt													
Melu													
Jätteet													
Ympäristövaikutusten tarkkailu													
Pintavesien fysikaalis-kemiallinen laatu													
Kasviplanktonin lajisto- ja biomassa													
Kasviplanktonin leväntuotto-potentiaali													
Pohjaeläimistö													
Kalojen metallipitoisuus													
Kalastuskirjanpito													
Kalastustiedustelu													
Sähkökoekalastukset													
Sedimentin laatu	tarkkailu sovitaan erikseen												
Pohjavesien laatu ja korkeus													
Kangasrouskun, kekomuurahaisten ja moreenin metallipitoisuudet													
Leijuma													
Melu													
Tärinä													

Toiminnanharjoittaja laatii ympäristöluvan vaatimusten mukaisen tarkkailusuunnitelman, jonka valvontaviranomainen hyväksyy kirjallisella päätöksellä. Tarkkailuvelvoitteiden lisäksi tarkkailusuunnitelma sisältää myös poikkeustilanteiden menettelytavat. Taulukossa 40 on esimerkki kaivoksen tarkkailuvelvoitteista. Tarkkailusuunnitelmaan voidaan tehdä tarvittaessa muutoksia valvontaviranomaisen hyväksymällä tavalla.

Ympäristölupasäännösten mukaisten tarkkailuvelvoitteiden ohella kaivoksilla tehdään yleisesti myös omaehtoista tarkkailua. Oman tarkkailun tarkoituksena on toiminnan prosessien hallinta esim. metallien saostus ja puhdistuslaitteiden toiminnan seuranta. Joissakin tapauksissa omaehtoisen tarkkailun sisältöön saattaa vaikuttaa esim. ulkomaisen omistajayrityksen sisäiset käytännöt, jotka voivat joskus edellyttää hyvinkin laajaa tarkkailuohjelmaa.

7.1

Rakentamisen aikainen tarkkailu

Tarkkailusuunnitelmassa on omat tarkkailuvelvoitteensa myös rakentamisen aikaisille päästöille. Tarkkailu sisältää rakentamistöiden tarkkailun, rakentamisaikaisen vesistötarkkailun ja eri toimintojen käyttötarkkailua. Rakentamistöiden tarkkailusta pidetään ajantasaista päiväkirjaa, jonka merkinnät sovitaan valvontaviranomaisen kanssa. Päiväkirja säilytetään kaivoksella ja sen käytöstä vastuullisen henkilön yhteystiedot ilmoitetaan vastuuvälvoijalle.

Rakentamisen aikainen tarkkailu:

- tiedot rakentamistöiden etenemisestä päivittäin
- käytössä olevat työmenetelmät
- ojitusten ja uomien siirtojen tarkat kaivuajat ja -paikat
- vesialueiden kuivattamisen toteuttamisen ajankohta ja toteutustapa
- vesiensuojelurakenteiden valmistuminen, kunnon seuranta, havainnot toimivuudesta sekä kaikki, myös väliaikaiset, poikkeamat vesiensuojelusuunnitelmasta
- ojien lietealtaiden ja -syvennysten rakentaminen ja tyhjentäminen
- vesinäytteiden ottoajat ja -paikat
- määräaikaistarkastukset
- sadanta, lämpötila ja tuulen suunta
- kaikki muut mahdolliset tapahtumat, joilla arvellaan olevan vaikutusta työmailta lähtevän veden laatuun tai vesistökuormitukseen.

Rakentamisen aikana tehdään yleensä mittaviakin maa- ja vesirakennushankkeita, joilla voi olla vesistövaikutuksia. Yleisesti tarkkailunäytteistä määritetään mm. kiintoaine, kiintoaineen hehkutusjäännös, pH sekä metallipitoisuuksia riippuen maaperän luontaisesta koostumuksesta. Rakentamisen aikana silmämääräinen havainnointi on erityisen tärkeää, jotta havaitaan ajoissa mahdolliset samentumat, ja ylimääräinen tarkkailu sekä selvitystyö ongelmien ratkaisemiseksi voidaan aloittaa mahdollisimman aikaisessa vaiheessa.

7.2

Käyttötarkkailu

Käyttötarkkailu liittyy kiinteästi päästötarkkailuun. Prosessin luonteesta riippuen käyttötarkkailuun voi liittyä hyvinkin yksilöllisiä erityiskohteita. Kaivoksilla suoritetaan tuotannollisen toiminnan aikana varsin laajaa toiminnanharjoittajan

omaa käyttötarkkailua, joka perustuu visuaaliseen tarkkailuun, manuaalisiin näytteenottoihin ja mittauksiin sekä automatiikasta saataviin mittaustietoihin. Valtaosa tästä tarkkailusta on omaehtoista ja kaivoksen omiin tarpeisiin liittyvää tarkkailua, mutta osa voi olla myös ympäristöluvan ehdoissa velvoitettua tarkkailua. Käyttötarkkailu kattaa myös toiminnan rakentamisvaiheen. Käyttötarkkailuun kuuluu seuraavaa:

- kaivoksen ja rikastamon tuotanto (louhittu, täyttöihin sijoitettu, rikastamolle syötetty tai läjitetty kiviaines, rikaste ja rikastushiekka)
- kemikaalien, polttoaineiden ja energian kulutus
- louhinnan edistyminen
- raaka- ja talousveden käyttö, kierrätysveden käyttö
- vesistöön johdettavan kuivatusveden, prosessijäteveden ja saniteettijäteveden määrä
- liikennemäärät
- jäte-, prosessi- ja suotovesien puhdistusprosessien toiminta; käyttöajat, toimintahäiriöt
- pintavalutuskenttien ja kosteikkojen toiminta
- pölynpoistolaitteiden käyttöajat ja häiriöt
- tuotetut jätteet; niiden määrä, laatu ja sijoitus
- pöly- ja meluhavainnot
- sivukivialueen täyttömäärä ja täyttöalueen laajuus
- jälkihoitotoimet; laajuus, toteutustapa, käytettyjen menetelmien toimivuus
- alueiden kunnossapito; vesien hallintajärjestelyt, tieverkko, piha-alueet
- poikkeustilanteet, ympäristövahingot ja -onnettomuudet.
- näytteenottopäivät ja -paikat
- määräaikaistarkastukset
- kaikki mahdolliset muut tapahtumat, joilla voi olla vaikutusta päästöihin tai niiden vaikutuksiin.

Merkinnät tehdään valvontaviranomaisen kanssa sovitulla tavalla. Päiväkirja säilytetään kaivoksella ja sen ylläpidosta vastuullisen henkilön yhteystiedot ilmoitetaan valvojalle. Päiväkirja säilytetään niin kauan kuin toimintaa jatketaan. Siitä laaditaan vuosittain yhteenveto, joka esitetään vaadittaessa viranomaisille ja liitetään lupamääräysten tarkistamishakemuksen asiakirjoihin.

Patojen käyttöönotto ja tarkastukset

Kaivospatojen käyttöönotolla tarkoitetaan ensimmäisen vaiheen padotun aineen noston aloittamista. Käyttöönoton yhteydessä hyväksytään padon käyttöönottosuunnitelma, joka sisältää mm. tulevat korotukset. Patoviranomaiselle on annettava mahdollisuus osallistua korotusten käyttöönottoihin. Määräaikaistarkastukset pidetään vähintään 5 vuoden välein. Määräaikaistarkastuksen tekee padon omistaja, mutta patoviranomaiselle ja pelastusviranomaiselle on annettava mahdollisuus osallistua tarkastukseen.

Padon omistajan on tarkastettava 1- ja 2-luokan patojen kunto ja turvallisuus vähintään kerran vuodessa (ns. vuositarkastus). Padon omistajan on annettava tiedoksi 1-luokan padon vuositarkastuksesta kirjallinen raportti patoturvallisuusviranomaiselle. Vuosi- ja määräaikaistarkastusten lisäksi padon omistajan tulee järjestää luokitelluille padoille hyväksytyn tarkkailuohjelman mukainen tarkkailu. Kausittaisessa tarkkailussa havainnoidaan yleensä silmämääräisesti padon harjan, luiskien, verhouksien ja patoihin liittyvien rakenteiden, kuten putkistojen ja kaivojen kunto. Lisäksi tehdään havaintoja mm. suotovesien määristä ja mahdollisesti laadusta, altaan vedenpinnan korkeudesta sekä rikastushiekan läjittymisestä altaaseen. Tarvittaessa tulee ryhtyä tarkentaviin mittauksiin ja korjaustoimenpiteisiin.

Päästötarkkailu

Päästötarkkailu on kiinteä osa käyttötarkkailua, mutta ympäristöluvan edellyttämän virallisen päästötarkkailun toteuttaa toiminnanharjoittajan palkkaama konsultti, joka ottaa ja analysoi näytteet sekä toimittaa tiedot tuloksista mm. toiminnanharjoittajan edustajille, valvontaviranomaiselle, kunnan ympäristönsuojeluviranomaiselle sekä kunnan terveydensuojeluviranomaiselle. Päästötarkkailuun kuuluvat vesi-, ilma-, melu- ja värinapäästöjen tarkkailu sekä jätteiden määrän ja laadun tarkkailu.

Vesipäästöjen tarkkailuun kuuluvat tehtaan prosessivedet, louhoksen kuivanapitovedet, rikastushiekkejätealueiden suotovedet sekä saniteettijätevedet. Prosessi- ja kuivanapitovesiä kierrätetään altaiden kautta takaisin prosessin käyttöön ja/tai johdetaan puhdistuksen jälkeen purkuvesistöön. Myös sivukivialueen suotovedet edellyttävät usein käsittelyä, jotta ne täyttävät ympäristöluvassa annetut päästörajat. Ympäristöluvassa annetaan yksittäisiä päästörajajoja tietyille parametreille, mutta myös vuosittaisen kokonaiskuormituksen määrää voidaan rajoittaa metallien osalta määräämällä päästöpiirteen yhteenlaskettu vuosittainen kokonaiskuormitus. Yleisesti jätevesipäästöistä mitataan malmiesiintymän mukaan päämetallipitoisuudet, pH ja mahdollisesti myös sulfaattipitoisuus. Lähes poikkeuksetta seurataan myös räjähdysaineista peräisin olevia tyypipäästöjä. Useimmiten velvoitetarkkailuohjelmaan sisällytetään myös malmiesiintymän sisältämiä muita metalleja, lähinnä ympäristövaikutusten kannalta haitallisimpia metalleja, kuten Hg, Pb ja Cd. Jätevesien toksisuuden testaukseen käytetään erilaisia testejä, joilla selvitetään jätevesien myrkyllisyyttä ravintoketjun eri tasoilla oleville eliöille. Yleisesti käytettyjä toksisuustestejä ovat valobakteeritesti (SFS-EN ISO 11348), viherlevättesti (SFS-EN ISO 8692) ja vesikirpputesti (SFS-EN ISO 6341).

Muodostuvat talousjätevedet käsitellään ympäristöluvan lupaehtojen mukaisesti. Puhdistamolla suoritetaan työpäivittäin käyttöhenkilökunnan toimesta käyttötarkkailua puhdistamon toiminnan, jäteveden määrän, mahdollisten ohijuoksutusten, häiriöiden, kemikaalikulutuksen yms. selvittämiseksi. Käyttötarkkailusta pidetään päiväkirjaa. Puhdistamon tehon ja kuormituksen tarkkailu suoritetaan riittävällä taajuudella. Näytteistä määritetään lämpötila, happi, pH, sähkönjohtavuus, COD_{Cr}, BOD₅, kok.P, kok.N, NH₄-N, kiintoaine ja fekaaliset koliformiset bakteerit. Lisäksi jokaisella tarkkailukerralla mitataan puhdistamon ilmastusaltaasta lietepitoisuus ja lietteen laskeutuvuus sekä selkeytysaltaasta näkösyvyys. Kuormitukset ja puhdistamon teho lasketaan virtaaman ja veden laadun perusteella vuosikeskiarvona. Puhdistamolla syntyvä liete kuljetetaan yleensä märkälietteenä kunnalliselle jätevedenpuhdistamolle.

Kaivostoiminnassa muodostuvat jättejakeet on luokiteltava ympäristöministeriön asetuksen 1129/2001 nimikkeiden mukaisesti. Jättejakeiden ominaisuudet kuvataan kaivannaisjäteasetuksen 717/2009 liitteen 1 ja 3 mukaisesti (ks. Liite 6). Keskeistä on määrittää jätteiden hapontuotto- ja neutralointipotentiaali sekä potentiaalisesti haitallisten aineiden pitoisuudet ja arvioida niiden lyhyt- ja pitkäaikainen liukenevuus läjitysaloissa. Rikastushiekan keskeisten metallien ja rikin kokonaispitoisuudet (laaja alkuaineanalyysi, ICP-MS) ja liukoisuudet analysoidaan yleisesti kokoomanäytteistä kahdesti vuodessa. Suotovesien neutralointisakan osalta tehdään vastaavat analyysit. Myös sivukivien osalta koostumustietoja päivitetään louhinnan aikana, mikäli on oletettavaa, että sivukiven hapontuotto- tai haitta-ainepitoisuudet muuttuvat.

Kaivosalueella ilmapäästöjä aiheuttavia lähteitä ovat pistemäiset tai kanavoidut päästölähteet sekä diffuusit päästölähteet. Päästöjen tarkkailuun kuuluu käytön aikainen prosessin tarkkailu päästöjen synnyn minimoimiseksi sekä päästöjen määrittäminen päästökohdeista. Pistemäisiä päästölähteitä ovat esimerkiksi murskaus- ja agglome-

rointiasemat sekä höyry- ja öljykattilat. Diffuuseja päästölähteitä aiheuttavat esimerkiksi louhosalueen hiukkaspäästöt sekä tiesto-, lastaus-, varasto- ja läjitysalueet.

Ilmapäästöjen osalta on velvoitteena yleensä pölyn joko jatkuvatoimiset tai toistuvat leijumamittaukset ympäristöstä kokonaishiukkaspitoisuuden ja mahdollisesti tiettyjen hiukkaskokoluokkien (esim. PM10) määrittämiseksi sekä pistemäisten päästökohteiden (esim. pölynpoistojärjestelmän poistopuhaltimen) säännölliset hiukkaspitoisuuden mittaukset. Joissakin tapauksissa velvoitteena voi olla myös poistokaasujen pitoisuusmittaukset, mikäli prosessista vapautuu kaasuja.

Päästöjen tarkkailusta on myös EU:n parlamentin ja neuvoston päätös (EC) No 166/2006 koskien EU:n päästörekisteri E-PRTR:ää (European Pollutant Release and Transfer Register), jossa määrätään toiminnanharjoittaja seuraamaan ja raportoimaan valvontaviranomaisille vuosittain päätökseen sisältyvässä aineluettelossa mainittujen aineiden päästöt ilmaan, veteen ja maaperään, jos ne ylittävät listassa määrätyn kynnyksarvon. Viranomainen on velvoitettu raportoimaan kansalliset päästöt edelleen EU:n viranomaisille Euroopan yhteisen päästörekisterin ylläpitämiseksi. Tämä E-PRTR:n säädösten mukainen tarkkailuvelvoite tulee yleensä katetuksi ympäristöluvan mukaisessa tarkkailuohjelmassa.

7.4

Ympäristövaikutusten tarkkailu

Ympäristövaikutusten tarkkailun tavoitteena on saada selville, miten kaivostoiminta vaikuttaa ympäristöönsä. Vaikutustarkkailuun kuuluvat pintavedet, pohjavedet, ilman laatu, melu ja värinä. Säännöllisen tarkkailun lisäksi tehdään projektiluontoisia selvityksiä esimerkiksi toiminnan vaikutuksista maaperään, vesistön eliöstöön tai kasvillisuuteen joko vapaaehtoisuuteen perustuen tai viranomaisten määräyksestä. Selvitysten tarkoituksena on usein kehitystrendien seuraaminen kaivoksen lähialueilla. Ympäristöön liittyviä selvityksiä on käsitelty tarkemmin luvussa 5.

Pintavesien velvoitetarkkailuun kuuluvat veden fysikaalis-kemiallisen tilan seuranta, pintavesien biologinen tarkkailu (kasviplanktonin lajisto- ja biomassa, kasviplanktonin leväntuotantopotentiaali, pohjaeläimet sekä kalojen metallipitoisuus), kalaston ja kalastuksen seuranta (kalastuskirjanpito, kalastustiedustelu ja sähkökoe-kalastukset) sekä sedimentin koostumuksen seuranta.

Näytteenotossa voidaan noudattaa vesi- ja ympäristöhallinnon antamia ohjeita (Mäkelä *et al.* 1992) tai muita standardoituja tai kaivosympäristötutkimuksissa kehitettyjä ja testattuja näytteenottomenetelmiä (esim. GTK:n näytteenottomenetelmät). Keskeistä näytteenotossa on, ettei ottotoimenpide vääristä näytteen koostumusta (kontaminaation välttäminen) ja että näyte kestäväidään (vesinäyte) ja/tai säilötään asianmukaisesti kentällä laboratorioon kuljetusta varten. Näytteistä tehtävät määritykset sovitaan tarkkailuohjelmassa. Keskeistä on mitata niitä parametrejä, joilla seurataan lupaehtoien päästöjä koskevien rajoitusten toteutumista, ja jotka kuvaavat toiminnasta mahdollisesti aiheutuvia ympäristövaikutuksia. Esimerkiksi metallisulfidikaivosten vesipäästöistä ja päästövesien alapuolisista vesiseurantakohteista on suositeltavaa mitata joko jatkuvatoimisesti (osa kohteista) tai määräajoin monianturimitarilla lämpötila, happi, hapen kyllästysaste, pH, redox (hapetus-pelkistyspotentiaali) ja sähkönjohtavuus. Vastaavat mittaukset voidaan tehdä myös laboratoriossa standardimenetelmillä, jolloin vertailu voi tuoda esille näytteen hapettumiseen liittyviä muutoksia. Myös alkaliteetti voidaan mitata joko kentällä näytteenoton yhteydessä tai laboratoriossa. Muiden parametrien lukumäärä tulee valita tarkoituksenmukaisesti vastaamaan lupamääräysten ja tarkkailuohjelman tavoitteita ja seurantakohteita (kaivostoimintakohtainen). Yleisesti jätevesistä ja valuma-alueen pinta- sekä pohja-

vesistä määritetään kiintoaineksen, orgaanisen aineksen, typen ja fosforiyhdisteiden, kemikaalijäämien (mm. SO_4 , Ca, Mg, Na, Cl, tiosulfaatti, syanidi), metallien ja metalloidien sekä muiden metalliesiintymästä peräisin olevien aineiden ja yhdisteiden (esim. SO_4 , Cl) määriä. Lisäksi järvivesistä tehdään useimmiten kokonaiskovuuden, hapen kulutuksen (COD_{Mn} , COD_{Cr}), sameuden, värin ja a-klorofyllin määrittämiä.

Biologisia laatutekijöitä seurataan ympäristöhallinnon ohjeiden mukaisesti (Meissner *et al.* 2010). Biologisessa tarkkailussa määritetään kasviplanktonlajisto ja -biomassa sekä kasviplanktonin leväntuotantopotentiaali eli kasviplanktonin perustuotantokyky. Pohjaeläinyhteisöjä seurataan järvien painanteissa ja litoraalialueella sekä virtavesien koskipaikoilla. Vaikutustarkkailussa tarkkaillaan myös ravinnoksi käytettävien kalojen (esim. muikku, kuha, hauki ja ahven) metallipitoisuuksia. Kalastoa ja kalastusta tarkkaillaan myös kalastuskirjanpidon, -tiedustelun, sähkö- ja verkkokoe-kalastusten avulla. Toiminnan vaikutuksia sedimentin laatuun ja sedimenttikerroksen paksuuteen seurataan purkuvesistöjen alueella.

Kaivoksen pohjavesivaikutuksia seurataan kaivosalueen pohjavesiputkista, joista mitataan pohjaveden korkeus sekä tehdään laadulliset analyysit (ks. yllä esitetyt määrittäykset). Pohjavesipisteinä voidaan myös käyttää lähialueen kaivoja tai lähteitä.

Maa-alueilla tehtävä biologinen tarkkailu voi olla esimerkiksi kangasrouskun ja kekomuurahaisten metallipitoisuuksien määrittämistä. Muita tarkkailukohteita voi olla mm. liito-oravan tai lepakoiden elin- ja pesimisolojen havainnointi.

Ulkoilman hengitettävien hiukkasten (PM10) pitoisuuksien mittausta tehdään standardin EN 12341:1998 mukaisesti. Leijumamittauksista kerätään hiukkasnäytteet, joista analysoidaan tutkittavat metallit siten, että tuloksia voidaan verrata Valtioneuvoston asetuksessa ilmassa olevasta arseenista, kadmiumista, elohopeasta, nikkelistä ja polysyklisistä aromaattisista hiilivedyistä (VNA 164/2007) annettuihin tavoitearvoihin. Tuloksia verrataan voimassa oleviin hengitettävien hiukkasten pitoisuuksia koskeviin raja-arvoihin (VNA 711/2001) ja hengitettävien hiukkasten pitoisuutta koskevaan ohjeeseen (VNp 480/1996).

Jo ympäristövaikutusten arvioinnin yhteydessä tehdään kattava ympäristömeluselvitys, jossa joko mitataan tai mallinnetaan kohteen yleinen melutilanne. Melualueita havainnollistetaan karttaesityksin. Ympäristömelua mitataan yleensä suoralla mittauksella valittujen kohteiden, esim. vakituisten tai loma-asuntojen pihoilla, päivä- ja yöaikaan (klo 07–22 ja 22–07). Mittausohjeena käytetään ympäristöhallinnon ohjetta (Ympäristöministeriö 1995) sekä ISO:n ja Nordtestin standardeja (SFS-ISO 1996-1, SFS-ISO 1996-2, SFS-ISO 1996-3, Nordtest 2002). (Mondo Minerals 2008)

Ympäristöön leviävää tärinää syntyy mm. kallion louhinnasta ja liikenteestä. Tärinän voimakkuus riippuu ensisijaisesti louhinnassa kerralla käytettävän räjähdysaineen määrästä. Liikenteen aiheuttaman tärinän voimakkuus riippuu mm. ajoneuvon kokonaispainosta ja ajonopeudesta sekä tien kunnosta. Louhinnasta (räjähdystöistä) syntyvän tärinän voimakkuutta ja sallittua tärinän voimakkuutta etäisyyden funktiona erilaisille rakennuksille voidaan arvioida esim. Suomen maarakentajien keskusliiton julkaisemien kaavojen ja kertoimien perusteella (Vuolio 1991).

Tärinä leviää ympäristöön kallion ja maapohjan kautta. Maapohjan kautta leviävä tärinä vaimenee yleisesti eksponentiaalisesti etäisyyden kasvaessa. Kallion kautta leviävä tärinä vaimenee hitaammin kuin maapohjan kautta leviävä tärinä. Louhinnasta syntyvä tärinä on yleensä lyhytkestoisempaa kuin liikenteestä syntyvä tärinä. Haitallisen voimakasta tärinää esiintyy useimmin pehmeiden ja paksujen savi- ja silttimaakerrosten alueella, kun tärinän vaikutusalueella on maavaraisesti perustettuja rakennuksia. Myös kalliolle perustetuissa rakennuksissa voi esiintyä haitallisen voimakasta tärinää, ns. runkomelua raide- ja ajoneuvoliikenteestä sekä lyhytkestoisia tärinäpiikkejä louhinnasta. (Kuhmo Metals Oy 2008)

Luvanvaraisen toiminnan aikaisten ja sen lopettamisen jälkeisten vaikutusten tarkkailun velvoitteista on säädetty ympäristönsuojelulaissa. Pinta- ja pohjavesien jälkiseurannan suunnittelun tarkoituksena on, ettei kaivosalueelta saa päästä ympäristön vesiin haitallisia aineita ja mahdolliset päästöt havaittaisiin mahdollisimman varhaisessa vaiheessa. Outokumpu Mining Oy:n Kotalahden kaivos on lopetettu vuonna 1987. Kaivoksen vaikutuksia tarkkaillaan edelleen pintavesi- ja purkuvesistön tilan tarkkailun avulla. Oravilahteen johdettavan veden ja kosteikkojen veden laatua seurataan neljä kertaa vuodessa. Kaivoksella on lupaehdot raudalle, nikkelille, kiintoaineelle ja pH:lle. Edellisten lisäksi näytteistä määritetään lämpötila, sähköjohtavuus, sulfaatti, mangaani ja kupari. Kaivosvesiä tarkkaillaan kahdesta kuilusta sekä kaivoksen ylivuotovedestä. Purkuvesistöjen tilaa tarkkaillaan kahden yhteistarkkailuohjelman mukaisesti.

7.5

Raportointi ja laadun varmistus

Tarkkailutulosten raportoinnista on yleensä määrätty tarkkailuohjelmassa. Tarkkailutulokset toimitetaan valvontaviranomaisen tietoon. Toiminnasta ja siitä aiheutuneista päästöistä, käsitellyistä jätteistä (jätekoodeittain eriteltynä) sekä energiankäytöstä toimitetaan vuosiyhteenveto yleensä VAHTI-järjestelmän kautta sähköisesti valvontaviranomaisen hyväksyttävästi. Vuosiyhteenvedosta tehdään myös kirjallinen raportti, johon on koottu koko kaivoksen toiminta vuoden aikana mukaan lukien poikkeus- ja häiriötilanteet. Ympäristöluvassa on usein määrätty myös muusta ympäristönsuojeluun liittyvästä raportoinnista, johon voi kuulua esim. ympäristönsuojeluun liittyvien onnettomuustapausten ja muiden poikkeamien raportointia, ympäristönsuojeluun liittyvien rakennus- ja kunnossapitosuunnitelmien raportointia, poikkeuksellisten päästöjen raportointia sekä kehityshankkeiden raportointia.

Raportointikäytäntöön vaikuttaa lupamääräysten lisäksi kaivoksen omistajayhtiössä mahdollisesti noudatettava konsernitasoinen käytäntö sisäisestä ja ulkoisesta raportoinnista. Raportointikäytännön muotoutumiseen voivat vaikuttaa myös kaivoksella käytössä olevat standardinmukaiset ympäristö- ja laatujärjestelmät.

Tarkkailutulokset raportoidaan viranomaisille yleensä tarkkailukauden aikana esim. kuukausittain tai neljännesvuosittain ja tarkkailusta laaditaan vuosittain yhteenveto. Tarkkailun laadunvarmennuksessa yleisperiaatteena on, että näytteenotossa ja analysoinnissa käytetään standardoituja menetelmiä, jotka on yleensä määritetty tarkkailuohjelmassa. Kertaluontoisista selvityksistä laaditaan suunnitelma, joka lähetetään etukäteen viranomaisten hyväksyttäväksi. Tulosten raportoinnissa esitetään käytetyt menetelmät ja niihin liittyvät epävarmuustekijät sekä tilastolliset virhearvioinnit. Velvoitetarkkailussa ja näytteenotossa on suositeltavaa käyttää sertifioituja näytteenottajia ja analyyseissä akkreditoituja asiantuntijalaboratorioita.

8 Metallimalmikaivostoiminnan parhaat ympäristökäytännöt

Kestävän kehityksen mukainen kaivostoiminta on vastuuntuntoista luonnonvarojen käyttöä takaamalla raaka-ainevarojen riittävyys, kierrätettävyys ja saatavuus nyt ja tulevaisuudessa (Suomen mineraalistrategia 2010, ks. luku 8.3.1). Tämä edellyttää kriittisten luonnonvarojen kokonaisvaltaista ja tasapainoista hyödyntämistä, kriittisten luonnonvarojen suojelua sekä tasapainoista ja vastuuntuntoista toimintatapaa, jossa huomioidaan niin lyhyt- kuin pitkäaikaiset ympäristölliset, sosiaaliset, taloudelliset ja hallinnolliset näkökohdat.

Kaivostoiminnan parasta ympäristökäytäntöä on toimintatapa tai menetelmä, jonka avulla toiminta ja sen päästöt sekä niiden ympäristövaikutukset pysyvät paikallisen ja alueellisen yhteisön hyväksymällä tasolla. Hyväksytyn tason määrittelyssä (pohjautuen lainsäädäntöön) huomioidaan mahdolliset vaikutukset ympäristön asukkaisiin, luonnon elinvoimaisuuteen ja monimuotoisuuteen sekä maisemaan. Tärkeää on laatia kaivostoiminnalle ympäristötavoitteet ja sitoutua niiden toteuttamiseen suunnitellussa aikataulussa. Asetettujen tavoitteiden saavuttaminen edellyttää parhaiden toimintatapojen valintaa, jossa keskeistä on asiantunteva suunnittelu, luotettava, tutkimuksiin tai selvityksiin pohjautuva arviointi päästöjen ja niiden vaikutusten arvioinnista läpi kaivostoiminnan elinkaaren.

Parhaat ympäristökäytännöt -luku sisältää ohjeellisia suosituksia ja tietoja parhaista toimintatavoista ja -menetelmistä. Luku koostuu neljästä osasta, joista ensimmäinen luku (8.1) käsittelee parhaita käytäntöjä kaivoshankkeen suunnittelussa ja hallinnollisissa menettelyissä. Luvussa 8.2 kuvataan parhaita ympäristökäytäntöjä malminetsintävaiheessa, luvussa 8.3 kaivoksen suunnittelu-, perustamis- ja tuotantovaiheessa ja luvussa 8.4 kaivoksen sulkemis- ja jälkihoitovaiheessa. Parhaaseen ympäristökäytäntöön liittyy myös materiaalien ekotehokas käyttö ja kaivannaisjätteiden määrän vähentäminen kehittämällä tekniikoita, joilla voidaan mm.

- ennaltaehkäistä päästöjen synty (vähäpäästoiset / päästöttömät toimintatavat, laitteet ja malmin käsittelymenetelmät, luvut 8.3.2 ja 8.3.3).
- lisätä sivutuotteiden osuutta suhteessa pitkäaikaissijoitukseen menevien kaivannaisjätteiden määrään (ks. luvut 8.3.2 ja 8.3.3.1).
- vähentää kemikaalien käyttöä optimoimalla mitoitus ja/tai palauttaa kemikaaleja uusiokäyttöön (luku 8.3.3).
- vähentää raakaveden ottoa ja lisätä veden sisäistä kiertoa (luku 8.3.3).

8.1

Parhaat käytännöt kaivoshankkeen suunnittelussa ja hallinnollisissa menettelyissä

Kaivoshankkeen suunnittelu ja toteutus sekä niihin liittyvät lukuisat lupa- ym. hallinnolliset prosessit ovat monipuolinen kokonaisuus. Niiden sujuva ja nopea sekä

lainmukainen eteneminen on kaikkien tahojen, toiminnanharjoittajan (ks. myös luku 8.1.1), lupa- ja valvontaviranomaisten sekä asianosaisten ja asiasta kiinnostuneiden etu (Kuva 18, luku 3.2.5). Kaivoshankkeen suunnittelun, eri menettelyjen ja asioiden hoidon nopeuttamista edesauttaa ratkaisevasti, kun toiminnanharjoittaja:

- sisäistää, että kaivoshankkeen suunnittelu ja toteutus sekä niihin liittyvät lukuisat lupa- ym. hallinnolliset prosessit edellyttävät runsaasti resursseja, paljon aikaa, monipuolista asiantuntemusta ja eri asiantuntijoiden tiivistä yhteistyötä.
- toteuttaa hankkeen ympäristövaikutusten arvioinnin ja haitallisten vaikutusten estämisen suunnittelun kiinteänä osana kaivoshankkeen suunnittelua.
- on valmis satsaamaan riittävästi omia asiantuntijoita, resursseja ja aikaa erityisesti hankkeen ja siitä aiheutuvien haitallisten ympäristövaikutusten estämisen ja/tai lieventämisen suunnitteluun ja samalla myös ympäristövaikutusten arviointiin, tarpeellisten kaavojen laadintaan, lupahakemusten valmisteluun ja eri hallintoprosessien läpivientiin.
- on selvillä keskeisten dokumenttien (mm. YVA-ohjelman ja -selostuksen), eri lupahakemusten ja suunnitelmien (mm. kaivannaisjätteen jätehuoltosuunnitelman) sisältövaatimuksista, hankkeeseen liittyvien lukuisten hallintoprosessien kulusta ja niiden vaatimista resursseista, lainsäädännön vaatimuksista sekä eri lupien myöntämisen edellytyksistä.
- käyttää apunaan hankkeen suunnittelussa, ympäristövaikutusten arvioinnissa ja lupahakemusten laadinnassa asiantuntijoita ja konsulttitoimistoja, joilla on riittävä asiantuntemus, kokemus ja resurssit ko. tehtävien hoitoon, ts. valitsee asiantuntijat ja konsultit huolellisesti.
- huolehtii, että valitut asiantuntijat ja konsultit ovat ymmärtäneet toimeksiannon ja panostavat annettuun tehtävään sopimuksen mukaisesti.
- koordinoi hyvin huolellisesti hankkeen suunnittelua ja toteutusta sekä siihen liittyviä hallinnollisia prosesseja sekä välittää niistä aktiivisesti tietoa eri osapuolille.
- on eri vaiheissa aktiivisesti yhteydessä keskeisiin viranomaisiin ja keskustelelee mm. tarvittavista selvityksistä ja suunnitelmista.
- pyrkii avoimeen ja tasapuoliseen vuorovaikutukseen eri osapuolten kanssa sekä aktiiviseen tiedon jakamiseen.
- tekee ympäristövaikutusten arvioinnin ja lupahakemukset pohjautuen luotettavaan ja kattaviin tietoihin päästöjen määrästä ja laadusta sekä toiminnan edellyttämän infrastruktuurin rakentamisesta aiheutuvista ja muista kohdealueen muutoksista.
- tiedostaa, että toiminnanharjoittaja kantaa vaikutusarviointeihin ja muihin selvityksiin liittyvän epävarmuuden aiheuttaman riskin ja, että ennakoitua (lupahakemuksissa esitettyä) merkittävästi suuremmat päästöt ja haitallisemmat ympäristövaikutukset voivat johtaa hyvinkin merkittäviin lisäkustannuksiin ja jopa luvan epäämiseen.

Lainsäädäntö ohjaa viranomaisten velvoitteita ja hallinnollisia menettelyitä sekä niiden parhaita käytäntöjä. Seuraavassa on lueteltu joitakin YVA- ja lupaprosesseihin liittyviä viranomaiskäytäntöjä:

- asiakirjoista tiedotetaan / kuulutetaan kirjallisessa ja mahdollisesti myös sähköisessä muodossa,
- valituksille ja muistutuksille annetaan riittävän pitkä kuulutusaika (vrt. 486/1994),
- eri viranomaistahojen kesken on sujuva ja joustava vuoropuhelu,
- lausuntopyyntöjen aikataulutus on joustava,
- lainsäädännöllisissä asioissa annetaan tarvittaessa neuvontaa (esim. YVA-selvitysten ja lupahakemusten sisältökysymyksissä),

- luonnonsuojelukysymyksissä (mm. Natura- ja luonnonsuojelualueet, luontotyyppit, suojeltavat lajit) annetaan neuvontaa,
- aluehallintoviranomaisten ja paikallisviranomaisten välillä vallitsee sujuva vuoropuhelu (luonnonsuojeluasiat, YVA, luvat).

Valvontatehtävissä parhaita käytäntöjä ovat mm.:

- neuvotteleva yhteydenpito toiminnanharjoittajaan,
- selkeiden ja kattavien tarkastuspöytäkirjojen laatiminen,
- vuoropuhelu tarkkailuohjelmien sisällöstä,
- vuoropuhelu parhaiden ympäristökäytäntöjen valinnassa,
- yhteydenpito ja vuoropuhelu alueen kuntaviranomaisiin,
- yhteydenpito asukkaisiin.

8.1.1

Valvonta ja tarkkailu – toiminnanharjoittajan vastuut ja velvoitteet

Kaivosten toiminnan tarkkailu perustuu lähtökohtaisesti toiminnanharjoittajan selvilläolovelvollisuuteen, joka edellyttää, että toiminnanharjoittaja on riittävästi selvillä toimintansa ympäristövaikutuksista, ympäristöriskeistä ja haitallisten vaikutusten vähentämismahdollisuuksista (YSL 5 §). Kaivostoiminnan päästöjen ja ympäristövaikutusten tarkkailu edesauttaa:

- varmistamaan, että toiminta sekä päästöt ja niiden vaikutukset ovat toimintaan myönnettyjen lupien mukaiset,
- tunnistamaan vaaratilanteet, prosessihäiriöt tai häiriöt päästöjen puhdistuksessa, ja siten ennaltaehkäisemään ympäristöonnettomuuksia sekä häiriötilanteissa muodostuvia päästöjä ympäristöön ja niiden haitallisia vaikutuksia,
- kehittämään jatkuvasti toimintaa kestävä kehityksen tavoitteiden mukaisesti,
- kehittämään päästöjen vähentämissuunnittelua ja -tekniikoita (melu, tärinä, ilma- ja vesipäästöt),
- kehittämään toimintaa ympäristö- ja sosiaalisia vaikutuksia vähentävään suuntaan (toiminnan aikaiset kunnostukset),
- vähentämään kaivannaisjätteiden määrää ja haitallisuutta sekä kehittämään kaivannaisjätteiden turvallista käsittelyä sekä jätealueiden ja koko kaivosalueen jälkihoitoa (perustietoa kaivoksen sulkemisen suunnitteluun),
- kehittämään kaivannaisjätealueiden jälkihoitomenetelmiä (perustietoa kaivoksen sulkemisen suunnitteluun),
- parantamaan sosiaalisia suhteita ympäröivään yhteisöön.

Ympäristöluvassa määrätty kaivostoiminnan tarkkailu jakaantuu rakentamisvaiheen aikaiseen tarkkailuun, toiminnan käyttötarkkailuun, päästötarkkailuun, ympäristövaikutusten tarkkailuun sekä toiminnan jälkeiseen päästö- ja vaikutustarkkailuun (ks. myös luku 7). Tämän lisäksi toiminnanharjoittaja voi tehdä omaehtoista tarkkailua, joka palvelee toiminnan ympäristönsuojelullista kehittämistä mm. kehittämällä päästöjä ja niiden ympäristövaikutuksia vähentävää tekniikkaa. Omaehtoisen tarkkailun tarkoituksena voi olla myös erilaisten ympäristönsuojeluun liittyvien prosessien hallinta ja sen kehittäminen (esim. metallien saostus jätevesistä, puhdistuslaitteiden toiminnan seuranta tms.). Parasta ympäristökäytäntöä on avoin tiedottaminen tarkkailun ja valvonnan tuloksista yhteistyössä valvojan viranomaisen ja toiminnanharjoittajan kanssa. Tähän kytkeytyy ympäröivän yhteisön kuuleminen (vuorovaikutus).

8.1.1.1

Ilmaan kohdistuvien päästöjen, melun ja tärinän tarkkailu

Ilmaan kohdistuvien päästöjen tarkkailuun kuuluu seuranta-kohteiden valinta päästölähteittäin kaivosalueella ja päästöjen leviämisalueella. Päästöjen tarkkailun keskeisenä tavoitteena on edesauttaa toimintojen kehittämistä päästöjä vähentävään suuntaan. Parhaita ilmaan kohdistuvien päästöjen tarkkailuun soveltuvia menetelmiä ovat

- jatkuvatoimiset tai toistuvat leijumamittaukset,
- pistemäisten päästölähteiden säännölliset mittaukset,
- räjähdysten videokuvaus panostuksen, kentän laajuuden ja kemikaalien käytön optimoimiseksi.

Melun tarkkailuun paras käytäntö on toistuvat mittaukset muutostilanteissa. Tärinän parasta tarkkailukäytäntöä on jatkuvatoiminen mittaus lähimmissä häiriintymiskohteissa. Tärkeää on myös tärinän aiheuttamien mahdollisten vaurioiden kartoitus ennen toimintaa ja säännöllisin välein toiminnan kuluessa.

8.1.1.2

Jätevesipäästöjen tarkkailu

Jätevesipäästöjen tarkkailuun kuuluu kaivosalueen ulkopuolisten seuranta-kohteiden valinta päästölähteittäin. Vesien puhdistustehon tarkkailu ja kaivosalueen ympäristön vesien laadun ja määrän tarkkailu ovat keskeisiä vesipäästöjen ympäristövaikutusten hallinnassa (ks. kappale 7). Tarkkailun tulee palvella

- veden puhdistustehon seuranta (lupapäätökset ja tarkkailun tavoitteet),
- riittävän tiedon saamista eri vesijakeista ja vesistöön johdettavista päästöistä sekä niiden vaikutuksista alapuolisessa vesistössä (kemiallinen, biokemiallinen ja fysikaalinen, eliöstö),
- mahdollisten häiriötilanteiden tunnistamista (prosessihäiriö, puhdistushäiriö, vuodot vesien keräysjärjestelmässä / jätealueilla).

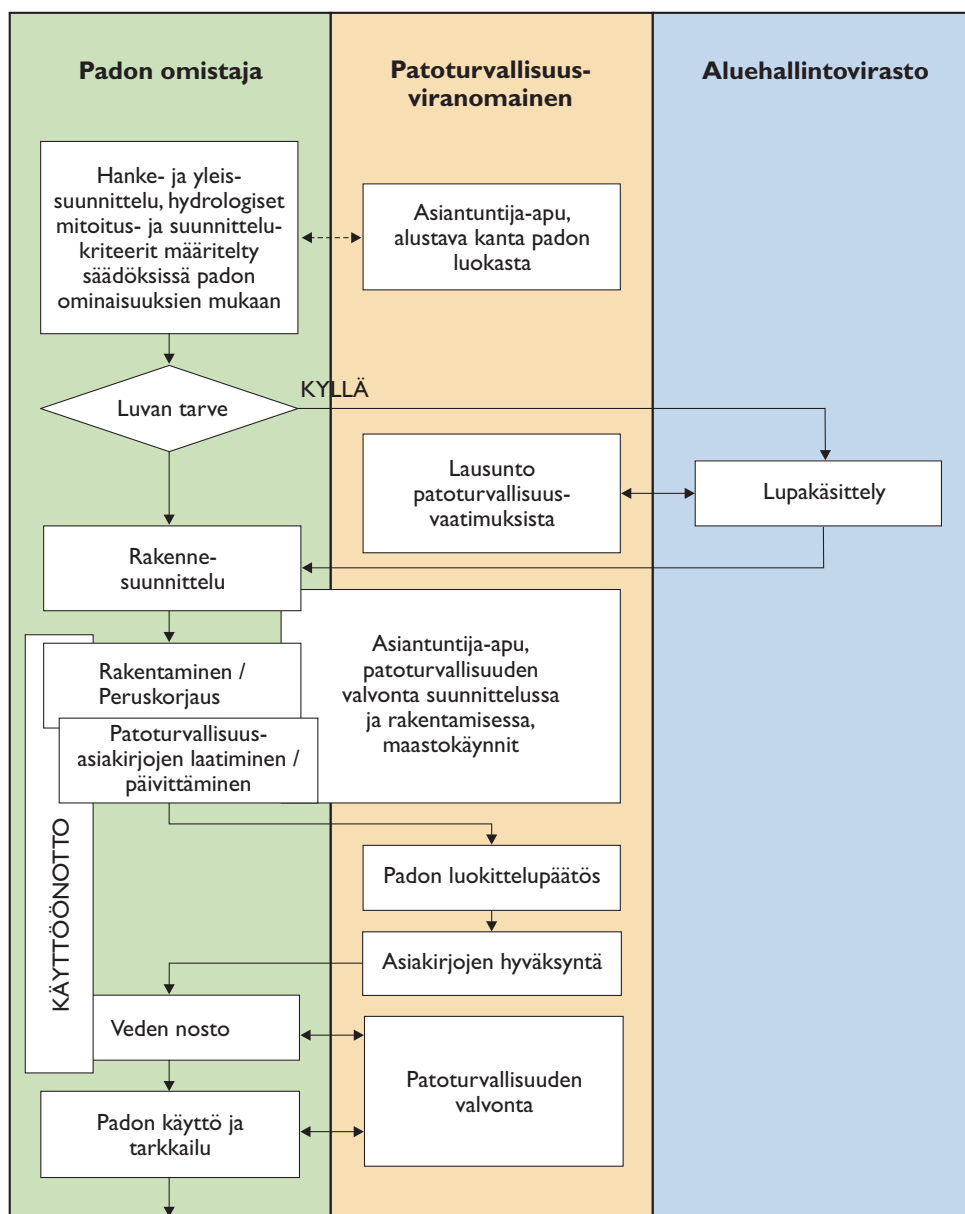
8.1.2

Kaivospatojen suunnittelu, luvitus ja vahingonvaaraselvitys

Padon omistajan on hyvä olla uuden tai vanhan padon perustamis- tai korjaussuunnitelmaa tehtäessä jo hyvissä ajoissa yhteydessä patoturvallisuusviranomaiseen (Kuva 37). Hanke- tai yleissuunnitelmavaiheen ratkaisuja on suositeltavaa esitellä patoturvallisuusviranomaiselle, jotta hän voisi ottaa alustavasti kantaa mm. padon luokkaan ja mahdollisesti myös teknisiin ratkaisuihin. Suunnittelun aikaisella yhteydenpidolla voidaan varmistaa, että suunnittelu etenee alusta lähtien oikeaan suuntaan, eikä esimerkiksi lupavaiheessa tule enää suuria, lupakäsittelyä pitkittäviä yllätyksiä. Lupahakemuksessa suunnitelmat esitetään yleissuunnitelmatasoisina. Lupakäsittelyvaiheessa aluehallintovirasto pyytää patoturvallisuusviranomaiselta lausunnon suunnitelmista (Kuva 37, ks. myös luku 3.2.5).

Patoturvallisuusviranomaiselle on hyvä esitellä luonnoksia myös rakennussuunnitteluvaiheessa, jo ennen lopullisten suunnitelmien valmistumista. Tällä käytännöllä pyritään varmistamaan, että rakentaminen voidaan aloittaa mahdollisimman pian suunnitelmien valmistuttua eikä suunnitelmista paljastu niiden valmistumisvaiheessa enää rakentamista lykkäviä asioita.

Vahingonvaaraselvityksen laajuus riippuu padon luokasta. 1-luokan padoille vahingonvaaraselvitys on pakollinen, muille padoille patoturvallisuusviranomaisen voi tarvittaessa edellyttää selvitystä. Kaivospadoilla tehdään käytännössä aina jonkin tasoinen vahingonvaaraselvitys patoluokasta riippumatta (patoturvallisuuslaki 494/2009, ks. luku 3.2.5.3). 1-luokan padoille tehdään myös turvallisuussuunnitelma. Turvallisuussuunnitelmassa esitetään padon omistajan toimenpiteet häiriötilanteissa



Kuva 37. Patojen rakentaminen ja peruskorjaus.

onnettomuuden ehkäisemiseksi sekä vahinkojen rajoittamiseksi, toimenpiteet ihmisten, omaisuuden ja ympäristön suojelemiseksi sekä toimenpiteet onnettomuudesta ilmoittamiseksi. Lisäksi suunnitelmassa on esitettävä onnettomuuden torjuntaan varattava materiaali ja kalusto sekä käytettävissä oleva henkilöstö. Jätepadon turvallisuussuunnitelmassa esitetään myös padotun aineen laatu, vaaraa aiheuttavat ominaisuudet, määrä, pitoisuudet, kulkeutuminen sekä muut padon erityispiirteet. Jos 2- ja 3-luokan padoille ei tehdä erillistä turvallisuussuunnitelmaa, niiden vahingonvaaraselvitykseen olisi hyvä liittää myös toimintaohjeet läheltä-piti sekä onnettomuustilanteita varten, sekä suunnitelmat mahdollisten vuodon korjaukseen tarvittavista louheen ja moreenin ottamisesta sekä onnettomuustilanteisiin varattavista resursseista.

8.1.2.1

Kaivospatojen käyttöönotto, tarkkailu ja käyttöönoton lakkauttaminen

Padolla suoritetaan käyttöönottotarkastus, päätetään padon luokittelusta ja hyväksytään kausitarkkailuohjelma (patoturvallisuusviranomainen) ennen sen käyttöönottoa.

1-luokan padoille hyväksytään myös padon luokittelua varten vahingonvaaraselvitys ja turvallisuussuunnitelma. Patoturvallisuusviranomaisen osallistuu yleensä käyttöönottotarkastukseen.

Patoturvallisuutta valvotaan patoturvallisuuslain perusteella. Padon omistaja tarkkailee patoa käytön aikana hyväksytyn tarkkailuohjelman mukaisesti. Padon omistajan tulee tehdä vuosittain tarkkailuohjelman mukainen vuositarkastus 1- ja 2-luokan padoille. 1-luokan patojen vuositarkastusraportti on toimitettava patoturvallisuusviranomaiselle. Vastaavasti myös 2-luokan patojen vuositarkastuksesta on hyvä toimittaa patoturvallisuusviranomaiselle raportti. Kaivoksilla patoja tarkkailaan käytännössä vähintään kerran vuorokaudessa. Padon omistajan tulee tehdä vähintään 5 vuoden välein määräaikaistarkastus. Patoturvallisuus- ja pelastusviranomaiset osallistuvat määräaikaistarkastukseen. Määräaikaistarkastusta varten padon omistajan tulee toimittaa hyvissä ajoin patoturvallisuusviranomaiselle yhteenveto padon tarkkailutiedoista edellisten 5 vuoden ajalta ja asiantuntijan alustava arvio padon kunnosta. Määräaikaistarkastuksessa selvitetään padon kunnan muutokset ja sen turvallisuuteen vaikuttavat seikat ottaen huomioon muutokset maankäytössä sekä sää- ja vesioloissa. Padon omistajan on tehtävä perusteellinen kuntoarvio padosta tai sen osan kunnosta, jos määräaikaistarkastuksessa ei voida riittävästi varmistua siitä, että pato täyttää sille asetut turvallisuusvaatimukset.

Pato voidaan lakkauttaa, kun altaassa tms. ei ole enää padottavaa materiaalia/ainetta eikä pato ole enää käytössä. Padon käytön lakkaaminen todetaan erillisessä tarkastuksessa, sen jälkeen kun muiden lakien mukaiset patorakenteen purkamiseen tai padon käytön lakkaamiseen liittyvät velvoitteet on täytetty.

8.2

Malminetsintä

Malminetsintävaiheessa on tärkeää toteuttaa etsintätoimet siten, että ympäristölle aiheutuu mahdollisimman vähän haittaa. Parhaan ympäristökäytännön mukaista toimintaa on myös tiedottaa etsinnästä ja etsintätoimista avoimesti paikalliselle väestölle, jolloin voidaan vähentää etsintään liittyviä ennakkoluuloja.

Etsinnässä on keskeistä huomioida mm. seuraavat asiat:

- Perustilaselvityksen/ympäristöselvityksen laatiminen ennen mittavampia malminetsintätoimia
- Luonnonsuojelullisten arvojen/kohteiden selvittäminen ennen alueelle menoa ja ko. kohteiden välttäminen
 - Yhteistyö vastaavan ympäristöviranomaisen kanssa jo ennen tutkimusten aloittamista
- Maanomistajien tiedottaminen ennen tutkimuksia, mahdollisten tutkimuslupien hakeminen, korvausmenettelyistä sopiminen mm. mahdollisten puustovaurioiden osalta sekä liikkumislupien hakeminen
 - Maastoliikennelaki (1710/1995) edellyttää maanomistajan lupaa aina tiestön ulkopuolella moottoriajoneuvolla liikuttaessa
 - Muiden liikkumista, toimenpiteitä ja alueita rajoittavien/koskevien säädösten huomioiminen (Murtovaara 2007)
- Ilmailulaitoksen sääntöjen ja ohjeiden huomioiminen lentomittauksissa (mm. ohjeet tärkeistä lintujen pesimisalueista, turkistarhauksesta ja porojen vasomisajoista)
- Tiedottaminen paikallisille malminetsinnästä ja etsintätoimista
- Suunnitelman laatiminen toiminnan aikaisten ja toiminnan jälkeisten ympäristövaikutusten hallitsemiseksi (erityisesti laajemmat etsintähankkeet)

- Kairausten ja iskuporakonetyöskentelyn suunnitteleminen siten, että toimenpiteistä aiheutuu mahdollisimman vähän vahinkoa, haittaa tai häiriötä.
- Vuodenajan, lähestymisreittien, kaluston järeyden ja vesistöolosuhteiden huomioiminen toiminnan suunnittelussa ja toteutuksessa
- Suunnitelman laatiminen mahdollisiin onnettomuustilanteisiin varautumisesta
- Kiintoainesta sisältävien huuhteluvesien laskeuttaminen saostusastioissa tai imeyttäminen maahan ennen niiden johtamista luonnon vesistöön
- Näytteenottoreikien tukkiminen näytteenoton jälkeen paineisen pohjaveden purkautumisen ja maaperän vettymisen estämiseksi, erityisesti alueilla, joissa on lähdepurkaumia
- Mahdollinen tarkkailu etsinnän aikana ja etsinnän jälkeen
- Etsinnän jälkien ja jätteiden korjaaminen/alueen jälkihoito etsinnän päätyttyä alueella
 - Mm. tutkimuskaivantojen peittäminen havainnoinnin ja näytteenoton jälkeen, kairausreikien tukkiminen
 - Poraussoijan hautaaminen maapeitteen alle
 - Tapauskohtaisista toimenpiteistä sopiminen alueen haltijan kanssa, kun toiminta tapahtuu suojelualueella (Idman & Kahra 2007).

Lisätietoja malminetsinnän parhaista ympäristökäytännöistä on saatavilla esim. kanadalaisesta malminetsijöiden yhdistyksen kehittämästä E3Plus ohjeistuksesta (PDAC 2011), Saskatchewanin malminetsijöiden ja hallinnon neuvontakomitean laatimista ohjeista (SMEGAC 2010) sekä australialaisesta malminetsintäyhdistyksen ohjeesta (AMEC 2010).

8.3

Kaivoksen perustaminen ja tuotantovaihe

8.3.1

Kestävä kehitys ja kaivostoiminta

Kestävän kehityksen mukainen kaivostoiminta edistää yhteiskunnan elintasoja tavalla, joka varmistaa tasapainoiset elinolosuhteet sen asukkaille nyt ja tulevaisuudessa (MMSD 2002). Tämä edellyttää tasapainoista ja vastuuntuntoista kaivostoimintaa, jossa huomioidaan niin lyhytaikaiset kuin pitkäaikaiset ympäristölliset, sosiaaliset, taloudelliset ja hallinnolliset näkökohdat (Taulukko 41). Vaikka käytössä olisi parhaimmat ympäristötekniikat, kaivostoiminnalla tulee aina olemaan jonkin asteista vaikutusta ympäristöön. Toiminnan toteutus tulee olla ympäristön sietokyvyn rajoissa, mikä mahdollistaisi luonnon palautumisen yhteisön hyväksymälle tasolle toiminnan päätyttyä. Tällainen toiminta edellyttää mm.:

- vastuuntuntoista luonnonvarojen käyttöä takaamalla raaka-ainevarojen riittävyyden myös tuleville sukupolville (materiaalien käyttötehokkuutta),
- kriittisten luonnonvarojen ja -arvojen suojelua,
- louhinnan ja malmikiven prosessoinnin päästöjä vähentävän tekniikan kehittämistä,
- pitkäaikaissijoitettavien jätteiden määrän ja haitallisuuden vähentämistä,
- lyhyt- ja pitkäaikaisten ympäristövaikutusten ennaltaehkäisyä,
- vastuuntuntoista ympäristöasioiden hoitoa,
- tiedon välityksen läpinäkyvyyttä ja virheettömyyttä sekä asiallisuutta,
- luottamuksellisen yhteistyön tukemista yleisten tavoitteiden ja arvojen mukaisesti (MMSD 2002).

Taulukko 41. Kestävän kehityksen mukaisen kaivostoiminnan pääperiaatteet. (MMSD 2002)

Taloudellinen	Sosiaalinen
<ul style="list-style-type: none"> • maksimoida inhimillinen hyvinvointi • varmistaa kaikkien resurssien tehokas käyttö • tunnistaa ja sisäistää ympäristölliset ja sosiaaliset kustannukset • ylläpitää ja parantaa elinkelpoista yritystoimintaa 	<ul style="list-style-type: none"> • varmistaa oikeudenmukainen kustannusten ja hyötyjen jakautuminen tämän päivän sukupolvien kesken • kunnioittaa ja vahvistaa ihmisten perusoikeuksia (sosiaalis-poliittinen vapaus ja oikeudet, kulttuurillinen itsehallinto ja yksilöllinen turvallisuus) • kehittää raaka-aineiden kestäväää käyttöä siten että taataan raaka-ainevarojen riittävyys myös tuleville sukupolville
Ympäristöllinen	Hallinnollinen
<ul style="list-style-type: none"> • edistää vastuuntuntoista luonnon varojen käyttöä ja ympäristön hoitoa sekä aiemmin syntyneiden vaurioiden kunnostamista • vähentää jätteiden määrää ja ympäristön tuhoutumista kaivostoiminnan elinkaaren eri vaiheissa • ennaltaehkäistä mahdolliset ympäristövaikutukset (varovaisuusperiaate) • toimia ekologisesti kestävässä rajoissa ja suojella kriittisiä luonnonvaroja ja -arvoja 	<ul style="list-style-type: none"> • tukea edustuksellista demokratiaa, yksilön vaikuttamismahdollisuutta elinympäristöä koskeissa päätöksissä • kannustaa vapaata yritteliäisyyttä ja kilpailukykyä säästöjen puitteissa • turvata tiedonvälityksen läpinäkyvyys, asiallisuus ja virheettömyys asianosaisille • taata vastuuvollisuus päätöksen teossa ja toiminnassa, jotka perustuvat kattaviin ja virheettömiin selvityksiin • tukea luottamuksellista yhteistyötä yleisten tavoitteiden ja arvojen mukaisesti • taata, että päätökset tehdään tarkoituksenmukaisella tasolla noudattaen läheisyysperiaatetta kun mahdollista

8.3.2

Kaivostoiminnan suunnittelu ja rakentamisvaihe

Kaivostoiminnan suunnittelun lähtökohtana tulee olla päästöiltään ja ympäristövaikutuksiltaan hallittavien ja luonnonsuojeluarvoja huomioivien menetelmien valinta. Paras ympäristöhallintajärjestelmä suosii päästöjä vähentäviä ja ympäristövaikutuksia ennaltaehkäiseviä ja/tai heikentäviä toimintamenetelmiä (Taulukko 42):

- Malmin hyödyntämisessä suositetaan menetelmiä, jotka lisäävät louhittavan kiviaineksen monipuolista hyötykäyttöä (sivutuotekehittely) ja vähentävät maan päälle pitkäaikaissijoitukseen tulevaa kaivannaisjättemäärää (mm. ekotehokas materiaalien käyttö, siirtyminen maanalaiseen louhintaan ja kaivannaisjätteiden sijoitus maan alle).
- Malmikiven louhinnan ja räjäytyksen sekä malmikiven kuljetuksen suunnittelussa suositetaan menetelmiä, jotka vähentävät pöly-, melu- ja ääripäästöjä sekä räjähdyskemikaalijäämiä kaivosalueen valumavesissä.
- Louhinnan ja rikastuksen suunnittelussa valitaan laitteita ja menetelmiä, joilla voidaan minimoida energiankulutusta.
- Malmikiven prosessoinnissa suositetaan menetelmiä, jotka vähentävät tuoreen veden käyttöä ja suosivat käyttöveden kierrätystä. Lisäksi suositetaan sellaisia prosessikemikaaleja,
 - jotka hajoavat haitattomaan muotoon rikastushiekkajätteen tai jätelietteen pumppauksessa ja/tai niiden läjitysalueella ennen jäteveden lopullista puhdistamista, tai

- jotka hajotetaan prosessissa haitattomaan muotoon ennen jätelietteen varastoimista, tai
- jotka voidaan ottaa uusiokäyttöön.

Kaivosalueen maankäytön suunnittelun perustana on toiminta-alueen ja ympäristön maankäyttöintressien yhteensovittaminen ja avoin keskustelu paikallisen yhteisön (asukkaat, matkailu-, metsä- ja kalatalousyrittäjät) ja ympäristönsuojelusta vastaavien viranomaisten sekä luonnonsuojelujärjestöjen kanssa. Paikallisten asukkaiden elinkeinojen, intressien ja luonnonsuojelun huomioiminen on keskeistä kaivostoiminnan rakenteiden, kuten malmi- ja sivukivien kuljetusreittien (ja mahdollisesti radan) sekä putkistoreittien (jäteliete, jätevesi, raakavesi), pintavesien kulkureittien ja jätealueiden, suunnittelussa (Taulukko 42). Tähän liittyy myös häiriötilanteiden (onnettomuus,

Taulukko 42. Kaivostoiminnan BEP-suunnittelussa huomioitavia tekijöitä. (Environment Canada 2009)

Malmikiven prosessoinnin suunnittelu	Jäteveden laadun arviointi (prosessivesi, kuivana-pitovesi, läjitysalueiden valumavesi)
<ul style="list-style-type: none"> • valitaan menetelmiä, jotka lisäävät kierrätysveden käyttöä ja vähentävät tuoreen veden käyttöä; suositetaan energiatehokkaita menetelmiä (esim. laitesuunnittelu) • arvioidaan prosessikemikaalien ympäristöhaittoja (kemikaalivaihtoehtotarkastelu); varotoimenpiteet potentiaalisesti haitallisten kemikaalien hajotukseen prosessivesistä ennen jälkikäsittelyä (mm. syanidin hajotus, tiyohdisteiden ja/tai rikkihapon neutralointi) • kemikaalikäytön säätö kulutuksen vähentämiseksi; varotoimenpiteet kemikaalivuotojen varalta (kuljetus, säilytys, käyttö); henkilöstökoulutus • pöly- ja kaasupäästöjen arviointi; päästöjä vähentävän prosessoinnin valinta, mahdollisten päästöjen puhdistustekniikan valinta • arvoaineiden prosessissa syntyvien jätejakeiden (rikastushiekka, sakkalietteet) määrän ja laadun sekä kemiallisen pysyvyyden arviointi; jätejakeiden hyötykäytön arviointi • bioliuotusjätejakeen määrän, laadun ja kemiallisen pitkäaikaismuutoksen arviointi; hyötykäytön arviointi 	<ul style="list-style-type: none"> • fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet, erityisesti hapontuottopotentiaali ja potentiaalisesti haitallisten alkuaineiden liukenevuus (esiintymän geologia ja geokemia) • potentiaalisesti haitalliset yhdisteet: prosessikemikaalit / kemikaalijäämät (mm. tiyohdisteet, syanidi), räjähdysainejäämät (typen yhdisteet), veden puhdistuksessa käytetyt kemikaalit • kiintoaineksen määrä ja laatu • lyhyt- ja pitkäaikaisen laatuvarianterin arviointi • tunnistetaan jäteveden laadun poikkeavaa muuttumista (esim. malmin prosessihäiriö, häiriö veden puhdistuksessa) kuvaavat indikaattorit seurantaan varten, veden laadun valvonnan koulutus
Muu rakenteiden suunnittelu	Maaerosion ja kiintoaineksen kulkeutumisen hallinnan suunnittelu
<ul style="list-style-type: none"> • lähtevä tiestö (+mahdollinen pistorata); kulkureittien suunnittelussa huomioitava ympäristöonnettomuus-riskit, vesien kulkureitit ja vesistön läheisyys (vaikutus kalastoon), asutuksen läheisyys, luonnonsuojelunäkökohdat, kulttuurilliset suojelunäkökohdat, kaavoitus, voimalinjat ja muu infrastruktuuriverkosto • kuljetushihnaston ja vesi-/jätelieteputkiston kulku-reittien paikan valinnassa huomioitava vesiluontoon ja kuivan maan luontoon kohdistuvat ympäristöriskit (vuototilanne, pölypäästöjen esto), laitteiston huolto ja häiriötilanteiden mittaushetket • lumen kasaaminen, sulamisvesien mahdollinen ohjaaminen puhdistukseen • muiden jätteiden hallinta, varastointi, kuljetus ja/tai mahdollinen käsittely paikan päällä • murskaamon sijoittaminen maan alle, meluvallien rakentaminen päästöjen vähentämiseksi 	<ul style="list-style-type: none"> • selvitetään rakennettavien alueiden kasvillisuuden poistoon ja maan paljastamiseen liittyvät eroosion riskikohteet ja potentiaaliset ympäristöriskit (mm. pölyjen leviäminen, kiintoaineksen kulkeutuminen vesistöön) • suunnitellaan riittävän laaja kasvitettu suojavaähyke paljastettujen/rakennettujen alueiden ympärille tai jätetään puustoa suojavaähykkeeksi paljastettujen/rakennettujen alueiden ympärille ja/tai uudelleen muotoillaan maaston topografiaa hillitsemään eroosiota ja kiintoaineksen kulkeutumista (sedimenttiloukku) • ylläpidetään kasvillisuuden pysymistä suojavaähykkeellä toiminnan aikana • suunnitellaan riittävän laaja (vähintään 100 metriä) puskurivyöhyke suojelualueiden ja vesistö- tai pohja-vesialueiden suojaamiseksi • suunnitellaan eroosion hallinnan seurantarajajärjestelmä (pölymittaukset, veden mukana kulkeutuvan kiintoaineksen seurantamittaus)

vuotopäästö) hallinnan ja varotoimenpiteiden suunnittelu. Kaivosalueiden rakentaminen rikkoo laajoja maa-alueita, mikä lisää maaerosioriskiä. Eroosion ja siihen liittyvän pölyämisen hallinta edellyttää mm. puuston jättämistä jätealueiden ja tiestön suojavyöhykkeiksi ja/tai suojavyöhykkeiden (vallien) kasvittamista ja kasvillisuuden ylläpitoa. Toimenpidesuunnittelun tulee sisältää myös eroosion mahdollisten haitta-vaikutusten seurantaohjelman laadinnan.

8.3.2.1

Jätealueiden BEP-suunnittelu

Yleisperiaatteet kaivannaisjätteiden hallintaan ja sijoittamiseen

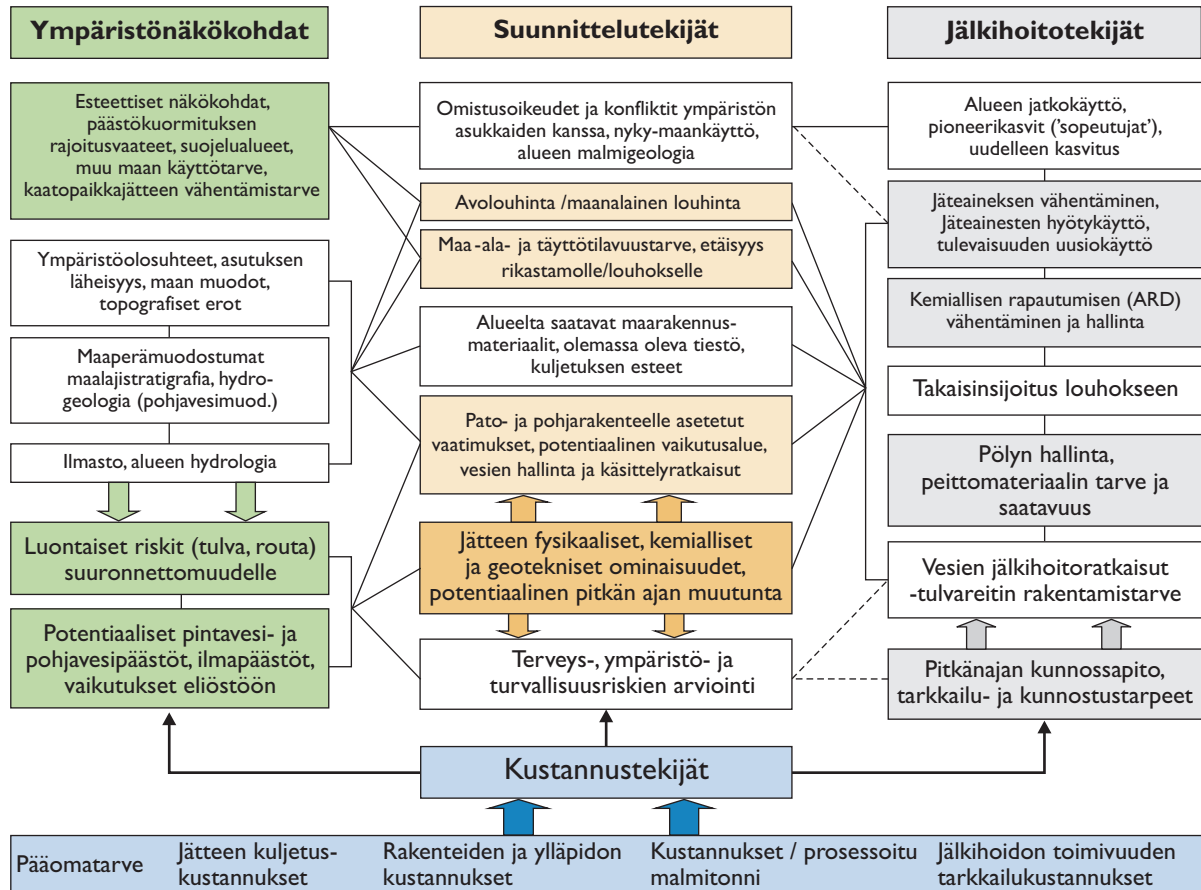
Kaivannaisjätteiden hallinnan ja sijoittamisen lähtökohtana on kehittää malmikiven prosesseja siten, että vähennetään pitkäaikaiseen läjitykseen menevien jätelajien määrää ja lisätään toiminnan aikaisten sivutuotteiden tai potentiaalisten sivutuotteiden määrää. Kaivannaisjätteiden ympäristökelpoisuutta ja/tai hyötykäyttöä esim. maarakentamisessa voidaan parantaa mm. seuraavilla toimilla (lisätietoja mm. EC 2009, INAP 2009):

- vähennetään rautasulfidien osuutta ja siten pienennetään jätteen hapontuotto-potentiaalia
 - erotettu rautasulfidipitoinen rikastushiekka on potentiaalinen sivutuote (Fe, S)
- lisätään jätteen neutralointikykyä (kalkkilisäys/karbonaattipitoinen mineraali-jauhelisäys)
- hajotetaan haitalliset kemikaalit ennen rikastushiekkajätteen sijoitusta ja/tai vähennetään liukoisten kemikaalijäämien määrää sijoitettavassa jätteessä (esimerkiksi syanidin hajotus prosessissa)
- edistetään potentiaalisesti haitallisten hivenalkuaineiden sitoutumista niukka-liukoisena sijoitettavaan jätteeseen (kemikaalilisäys)
- lajitellaan potentiaaliset sivutuotteet joko louhinnassa ja/tai malmikiven prosessoinnissa ja sijoitetaan erilleen pitkäaikaissijoitukseen menevistä jätelajeista
- selvitetään erilaisten arvomineraalien ja -metallien kuten hightech-alkuaineiden (esim. Re, Ga, In, Nb, Li), esiintyminen, mikä voi edistää jätelajien hyötykäyttöä tulevaisuudessa.

Kaivannaisjätteiden sijoituksen suunnittelu ja sijoituspaikan valinta kattavat yleispiirteissä läjitysalueen koko elinkaaren perustamisesta sulkemiseen (Kuva 38, ks. myös luku 5.4.3). Sijoituspaikan valintaa ja suunnittelua ohjaavat:

- sijoitettavien jätteiden tai sivutuotteiden fysikaaliset, kemialliset ja geotekniset ominaisuudet sekä potentiaaliset vuorovaikutusreaktiot läjitysympäristön kanssa
 - määräten läjitysalueen pohja- ja patorakenteet
 - vaikuttaen vesien hallintajärjestelmän ja jälkihoitomenetelmien valintaan
- tiedot vaihtoehtoisten sijoituspaikkojen ympäristön tilasta, maaperän ja kallio-perän ominaisuuksista, hydrologiasta ja hydrogeologisista erityispiirteistä (ks. myös kappale 5.4.3)
- suoto- ja valumavesien keräys puhdistukseen niin toiminnan aikana kuin toiminnan päätyttyä, mikä takaa samalla jälkihoidon toimivuuden
- maankäyttötarve toiminnan aikana kuin myös toiminnan jälkeen (+ omistusoikeudet ja konfliktit ympäristön asukkaiden kanssa)
- mahdollisuus sijoittaa kaivannaisjätteitä louhokseen/maanalaiseen kaivokseen
- asutuksen läheisyys
- olemassa oleva tiestö ja kuljetuksen esteet
- suojelukohteiden läheisyys ja niihin kohdistuvat potentiaaliset vaikutukset
- toiminta-alueen nykyinen ja tuleva virkistyskäyttö, maa- ja metsätalouskäyttö

- kustannustekijät: kuljetuskustannukset, rakenteiden ja ylläpidon kustannukset, jälkihoitokustannukset ja jälkihoidon tarkkailukustannukset
- mahdolliset toiminnan päättymisen jälkeiset terveys-, ympäristö- ja turvallisuusriskit (Heikkinen *et al.* 2005)
- sään ääriolot (kerran sadassa vuodessa).

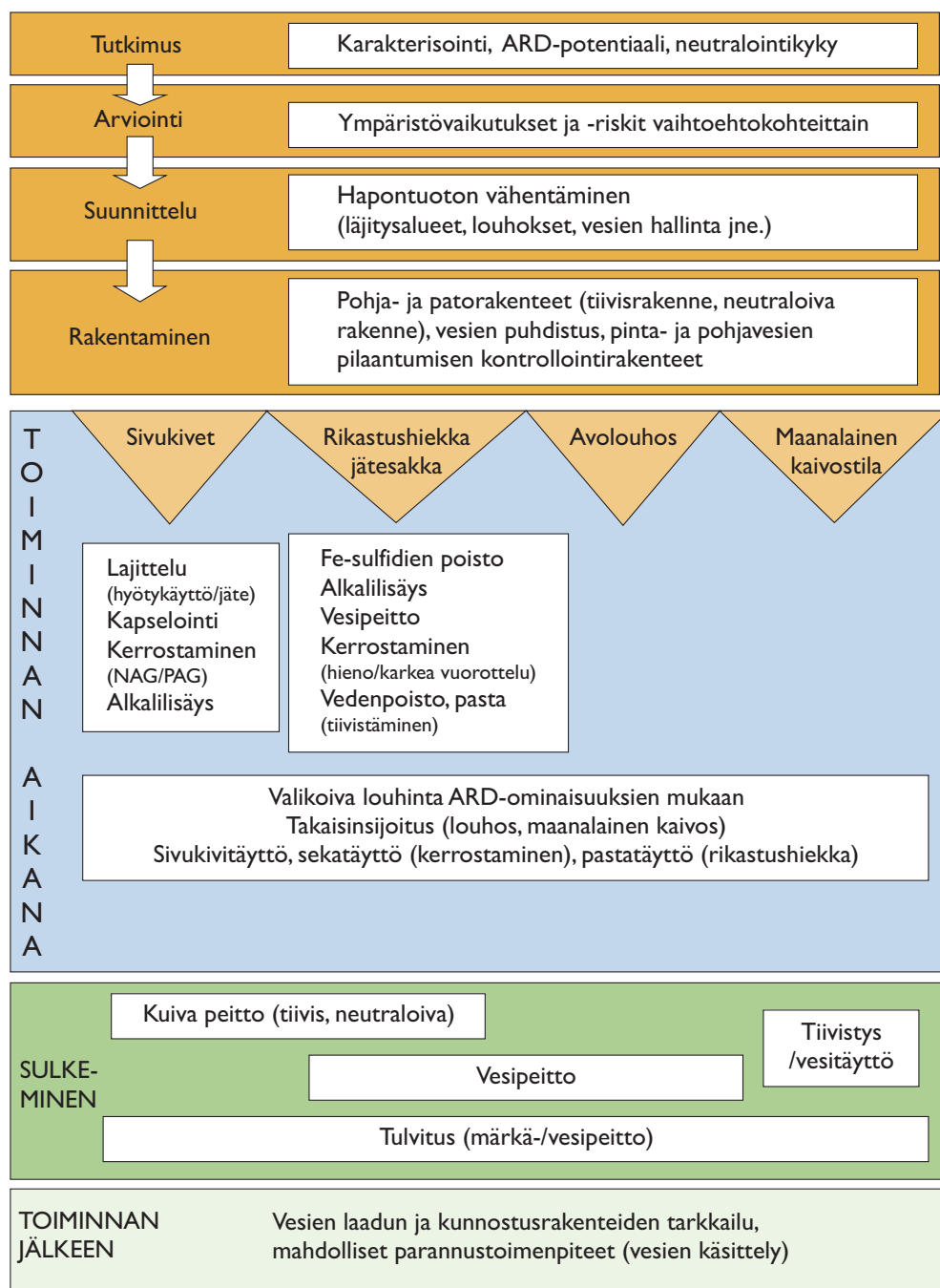


Kuva 38. Kaivannaisjätealueiden BEP-suunnittelua ja sijoitusta ohjaavat tekijät (lisätietoja EC 2009). Kuvausosioiden välillä oleva yhtenäinen viiva osoittaa suoran kytkennän ja katkoviiva epäsuoran kytkennän eri tekijöiden välillä.

Hapontuoton ennaltaehkäisy kaivannaisjätteen sijoituksessa

Kaivannaisjätteiden sijoituksen suunnittelua ja läjitysmenetelmän valintaa ohjaavat keskeisesti jätteen hapontuotto- ja neutralointiominaisuudet sekä haitta-aineiden potentiaalinen liukeneminen (Kuva 38). Suunnittelussa ja läjitystavan valinnassa huomioidaan myös eri sijoitus- ja jälkihoitoratkaisujen ympäristövaikutukset ja arvioidaan hapontuottoriskiä (Kuva 39, ks. myös Taulukko 35, luku 6.2.3). Sivukivien ja rikastushiekan (+jätelietaesakan) hapontuoton ennaltaehkäisyyn soveltuvia läjitystekniikoita ovat:

- lajittelu, jossa erotetaan eri läjitys- tai varastoalueille hyötykäyttöön soveltuvat kivet ja ympäristökelpoisuudeltaan heikkolaatuiset kivet (happoa tuottavat ja heikosti happoa tuottavat ja/tai haitta-ainepitoiset),
- kapselointi, jossa happoa tuottavat sivukivet kapseloidaan neutralointikykyisillä kivillä (ala- ja yläpuolelta sekä sivuilta) tai muulla alkalisuutta lisäävällä aineksella (kalkkikivijauhe, alkalinen jäteaines),
- kerrostaminen (tätekakurakenne, layering, Kuva 40), jolloin läjityksessä vuorottelevat neutralointi- ja hapontuotto-ominaisuuksiltaan erilaiset sivukiviainekset.



Kuva 39. Hapontuoton (ARD) ennaltaehkäisy ja estäminen kaivosalueen suunnittelu- ja rakentamisvaiheessa, kaivostoiminnan aikana ja jälkeen. (Lisätietoja INAP 2009)

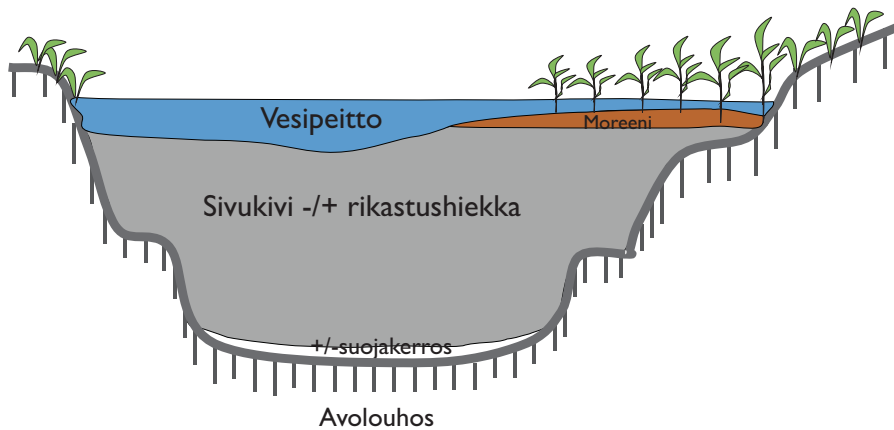
Osa kerroksista voi koostua myös hienojakoisesta, alkalisesta jäteaineksesta tai kivijauheesta (pastakerros), joka pidättää hyvin vettä ja siten hidastaa/estää hapen kulkeutumista happoa tuottaviin sivukivikerroksiin,

- sivukiven ja rikastushiekan sekalajittaminen (blending), joka voidaan toteuttaa esimerkiksi avolouhoksen täyttönä siten, että happoa tuottavien sivukivien sekaan läjitetään neutralointikykyistä, karbonaattipitoista rikastushiekkaa (kuva 40) (lisätietoja INAP 2009, BC AMD 1989, Tremblay & Hogan 2001, Miller *et al.* 2006).

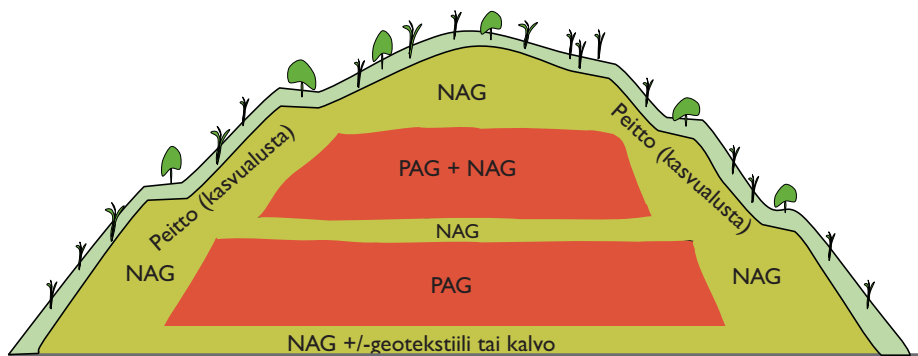
Rikastushiekan hapontuoton ennaltaehkäisyyn soveltuvia tekniikoita ovat:

- rautasulfidien poistaminen pitkäaikaisläjitykseen sijoitettavasta rikastushiek-
kajätteestä,
- rikastushiekan neutralointikyvyn parantaminen kalkkilisäyksellä tai muulla
alkalisella aineksella,
- rikastushiekan hienoainespitoisuuden lisääminen kerrosvälein (hieno-karkea-
kerros-vuorottelu); hienoainespitoinen, vähän rautasulfideja sisältävä karbo-
naattipitoinen rikastushiekka tai muu alkalinen jättemateriaali soveltuu myös
happoa tuottavan rikastushiekka-altaan peittorakenteeksi (vesi- ja/tai märkä-
peitto, Kuva 41),
- veden määrän vähentäminen ja rikastushiekan tiivistäminen lisäämällä hienoai-
neksen osuutta jätetäytössä (pasta, thickening) (lisätietoja INAP 2009, BC AMD
1989, Tremblay & Hogan 2001, Miller *et al.* 2006).

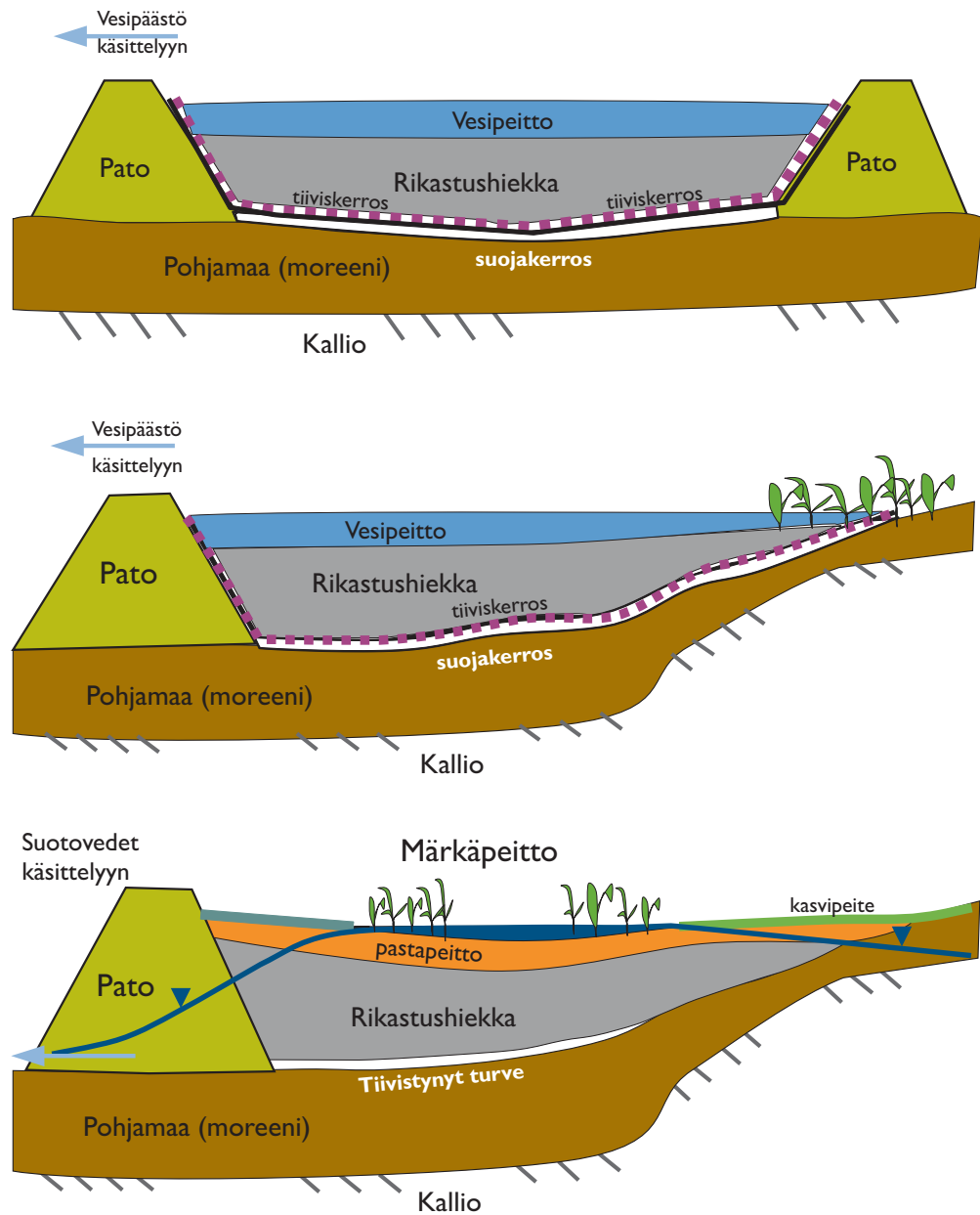
(a) Takaisinsijoitus louhokseen, vesipeitto



(b) Kuivapeitto, kapselointi, kerrostaminen



Kuva 40. Kaivannaisjätteiden hapon muodostumisen ehkäisyyn ja jälkihoitoon soveltuvia läjitys- ja jälkihoitomenetelmiä: (a) sivukivien ja/tai rikastushiekan (sekaläjitys) takaisin sijoittaminen avolouhokseen ja vesipeitto sekä matalan vesialueen moreenipeitto, (b) sivukivien kapselointi ja kerrostaminen sekä kuivapeitto (1-kerrospeitto = kasvialusta). Selitykset lyhennyksille: NAG (non-acid generating) = happoa tuottamaton, PAG (potentially acid generating) = happoa tuottava. Louhostäytön pohjan tasoitteena voi olla happoa tuottamaton kivimurske. Täyttö voidaan tehdä läjittämällä happoa tuottavien sivukivien sekaan neutralointikykyä lisäävää rikastushiekkaa. (Lisätietoja EC 2009, INAP 2009, Lottermoser 2007)



Kuva 41. Hapboatuottavan rikastushiekan jälkihoitomenetelmiä: vesipeitto (tiivis pohja ja pato-rakenne) ja märkäpeitto, jossa vettä pidättävänä peittorakenteena on hienorakeinen karbonaattipitoinen rikastushiekka (vähän sulfideja) tai muu alkalinen jättemateriaali (pastapeitto). Märkäpeitossa altaan keskelle muotoillaan kosteikkoallas sadeveden keräämiseksi ja pato on suotava, kun taas vesipeitossa patorakenne on tiivis märkäpuolelta ja altaan vesikorkeutta säädellään joko settipadon tai patoon rakennetun ylivuodon (ja/tai juurisalaojen) kautta. (Lisätietoja INAP 2009, Tremblay & Hogan 2001, Lottermoser 2007, Räisänen & Juntunen 2004, Heikkinen *et al.* 2009)

Taulukko 43. Kaivannaisjätteiden ympäristökelpoisuusominaisuuksien mukaiset parhaat pohjarakenteiden teknikat. (Suomen ympäristökeskus 2010a (ympäristöluvut vv. 2007–2009, Räisänen 2003, EC 2009)

Jätteen ominaisuudet	Pohjan tiivis eriste tai reaktiivinen rakenne	Muut rakenteet, maapohja ¹⁾	Veden läpäisykyky, kerrospaksuus	Sijoiuspaikka, maastomuoto
Happoa tuottamaton, ei potentiaalisesti liukenevia haitta-aineita ja/tai kemikaalijäämiä	ei	moreeni tai kallio rajaavana ja kantavana maapohjana	moreenin vedenläpäisykyky $10^{-5} - 10^{-6}$ m/s	tasainen / laakso / mäenlaki / loiva rinne, moreeni- tai kallioma
Happoa tuottamaton, metallien / metalloiden pitoisuudet ja niiden liukoisuuspotentiaali = taustan taso, ei haitallisia kemikaalijäämiä, ± räjähdäinejäämiä	ei	moreeni raajaavana ja kantavana pohjarakenteena	moreenin vedenläpäisykyky $10^{-7} - 10^{-8}$ m/s paksuus ≥ 1 m	tasainen / laakso / loiva rinne, moreenimaa
Happoa tuottamaton, metallien / metalloiden pitoisuudet ja niiden liukoisuuspotentiaali > taustatason, ei haitallisia kemikaalijäämiä ± räjähdäinejäämiä	I-kerrosrakenne: tiivistetty turve ¹⁾ ja/tai tiivistetty turve	± tiivistetty järvilleju (suojakerros)	eristekerroksen vedenläpäisykyky $\geq 10^{-10}$ m/s, paksuus tiivistyneenä $\geq 0,3$ m	sualue; tasainen / laakso / loiva rinne, moreenimaa
	neutraalointikykyinen kivilouhe / hienoaimespit. kivimurske ²⁾	moreeni (± kallio) kantavana maapohjana	moreenikerroksen ($10^{-8} - 10^{-9}$ m/s) paksuus ≥ 5 m	
Happoa tuottamaton, metallien / metalloiden pitoisuudet ja niiden liukoisuuspotentiaali > taustatason, ei haitallisia kemikaalijäämiä ± räjähdäinejäämiä	I-kerrosrakenne: kumi-bitumikermi	hienoaimesmoreeni / tiivistetty hieno siltti ± savi	moreeni- /siltti-savikerroksen ($10^{-8} - 10^{-10}$ m/s) paksuus ≥ 5 m	laakso, moreenimaa / siltti-savimaa
	I-kerrosrakenne: HDPE-kalvo	pohjamaan tasoitus ja tiivistäminen ± suojakerros ³⁾ rajaavaan pohjamaahan	vesitiivis ($10^{-9} - 10^{-14}$ m/s), paksuus 3,63 mm tai 4,04 mm	
Heikosti happoa tuottava, metallien / metalloiden pitoisuudet ja niiden liukoisuuspotentiaali > taustatason, ei haitallisia kemikaalijäämiä, ± räjähdäinejäämiä	neutraalointikykyinen kivilouhe / hienoaimespit. kivimurske ²⁾	suojakerros ³⁾ , tasoitettu ja tiivistetty (heikosti vettäläpäisevä), kantava pohjamaa	vesitiivis ($10^{-9} - 10^{-15}$ m/s), paksuus 1,5 mm tai 2 mm	tasainen /laakso, moreenimaa
	luonnon maakerrokset ²⁾ : tiivistetty turve (ylin) hienosiltti/savi (alin)	hienoaimesmoreeni / hieno siltti ± savipitoinen sedimentti	moreeni- /siltti-savikerroksen ($10^{-8} - 10^{-10}$ m/s) paksuus ≥ 5 m	
Happoa tuottava, metallien / metalloiden pitoisuudet ja niiden liukoisuuspotentiaali > taustan taso, ei haitallisia kemikaalijäämiä, ± räjähdäinejäämiä	I- / 2-kerrosrakenne: HDPE-kalvo tai kumi-bitumikermi ± bentoniittimatto	tiivistettyjen kerrosten alla kantava hienoaimesmoreeni	vesitiivis ($10^{-10} - 10^{-12}$ m/s), paksuus $\geq 0,5$ m, hienoaimesmoreenin (10^{-9} m/s) paksuus ≥ 5 m	tasainen / laakso, moreenimaa
	2-kerrosrakenne: muovi-kalvo (ylin) bentoniittimatto (alin) tai kaksoismuovikalvo ⁴⁾	suojakerros ³⁾ , tasoitettu ja tiivistetty (heikosti vettäläpäisevä), kantava pohjamaa	vesitiivis ($10^{-9} - 10^{-15}$ m/s), kalvon paksuus 1 mm tai 1,5 mm, bitumi-kermin paksuus 3,63 mm tai 4,04 mm	
Happoa tuottava, metallien / metalloiden pitoisuudet ja niiden liukoisuuspotentiaali > taustan taso, ei haitallisia kemikaalijäämiä, ± räjähdäinejäämiä		suojakerros ³⁾ , tasoitettu, kantava pohjamaa	vesitiivis; muovikalvo $10^{-9} - 10^{-15}$ m/s ja bentoniittimatto $\geq 10^{-8}$ m/s, paksuus 1,5 mm ja/tai 2 mm	tasainen / laakso (kaltevuusmax 3 %), moreenimaa tai louhittu kalliopohja

¹⁾ Puusto poistettu

²⁾ Soveltuu sivukivikasolle; tiivistetty pohja ja läjitysmenetelmän kerrostaminen / kapselointi, jos osa kivistä metalli-/metallidipitoisia ja/tai happoa tuottavia

³⁾ Suojakerros kivisen/louhikkoisen pohjamaan ja kumi-bitumikermiä väliin pistekuormituksen välttämiseksi

Sivukivien /kivimurskeiden läjitysalueella suojakerros (raekoko < kalvon paksuus) rakennetaan eristekerroksen ylä- ja alapuolelle

Rikastushiekkan tai sakkalietteen läjitysalueella suojakerros vain alapuolelle, jos ei ole pistekuormitusta

Suojakerroksen paksuus määräytyy läjitysmassan painon (korkeuden) ja pohjamaan hydrogeologisen luonteen mukaan

⁴⁾ Muovikalvojen väliin rakennetaan suojakerros/kuivatuskerros tarkkailuputkille

8.3.2.2

Läjitäyttöalueiden BAT-pohjarakenteet

Kaivannaisjätealueiden pohjarakenteiden valintaa ohjaavat jätteen kemialliset ja fyysiset ominaisuudet (jäteluokka) sekä sijoituspaikan maaperän hydrogeologiset ominaisuudet ja topografia. Taulukkoon 43 on koottu jätteen ominaisuuksien mukaisia pohjarakenteita ja sijoituskohteita. Pohjarakennevaihtoehdot on taulukossa ryhmitelty jätteen hapontuotto-ominaisuuden ja haitta-aineiden esiintymisen mukaan. Mikäli pitkäaikaissijoitettava kaivannaisjäte on happoa tuottava ja/tai se sisältää potentiaalisesti liukenevia haitta-aineita, pohjarakenteen tulisi:

- edistää jätteen sijoituksen vakavuutta sekä ehkäistä/vähentää sijoituksen ympäristövaikutuksia (pohjaveteen, alapuoliseen luonnon maaperään),
- hidastaa jätteen kemiallista muutuntaa erityisesti sijoituksen pohjaosasta,
- estää hapellisen pohjaveden pääsyä jätteeseen (ks. myös patorakenteet),
- ohjata jätealueen jälkihoitomenetelmän valintaa.

8.3.2.3

Kaivospatojen BAT-rakenteet

Rikastushiekka-altaiden patorakenteet suunnitellaan vakaaksi kestäväksi toiminnan aikainen altaan täyttö. Patojen tulee pysyä vakaana myös täytön päättymisen jälkeen siten, että jälkihoitovaiheessa ei ole tarvetta uudelleen muotoiluun tai vakauden parantamiseen.

Rikastushiekka-altaan padon tiivisrakenne valitaan varastoitavan jätteen ja siitä purkautuvien suotovesien ominaisuuksien mukaan. Patorakenteen valintaa ohjaavat altaan pohjarakenteen tiiveysvaade ja suotovesien laatu. Jos pohjarakenne on täysin tiivis, myös patoon tulee nesteitä läpäisemätön tiivisrakenne. Mikäli varastoitavan jätteen suotovesien laatu on ympäristölle haitatonta ja suotovesiä voi laskea luonnon vesiin, voidaan patorakenteena käyttää suotavaa rakennetta. Tällöin peruspato rakennetaan joko homogeenisena maapatona, louhepatona tai vyöhykepatona (Taulukot 44 ja 45). Padon korotuksessa voidaan käyttää happoa tuottamatonta ja haitta-aineetonta rikastushiekkaa. Mikäli jätteestä muodostuu potentiaalisesti haitallisia suotovesiä, pato tulee rakentaa suotamattomaksi (tiiviksi). Tällöin sekä peruspato että korotukset tehdään joko louhe- tai vyöhykepatona. Tiivisrakenne tehdään kaivospadoissa yleensä padon märkäpuolelle niin suotavissa kuin täysin tiiviissä padoissa. Padon keskellä sijaitseva tiivissydän on harvinainen kaivospadoissa. Tiivisrakenne koostuu sulfidivapaasta moreenista ja muovikalvosta tai kumibitumikermistä. Kalvon tai kermin alle moreenia vasten voidaan asentaa bentoniittimatto.

Taulukko 44. Patotyyppien soveltuvuus suotautumisen perusteella.

Padon rakennetyyppi	Tiivisrakenne	Suotovesiä saa mennä luontoon	Suotovesiä ei saa mennä luontoon
Homogeeninen moreenipato	moreeni, siltti, savi	x	
Vyöhykepato	moreeni, siltti, savi	x	
	geosynteetti		x
Louhepato	moreeni, siltti, savi	x	
	geosynteetti		x
Rikastushiekka-korotus	hienorakeinen rikastushiekka	x	

Taulukko 45. Patotyyppien vertailu.

Padon rakennustyyppi	Patoturvallisuus	Ympäristö	Talous
Homogeeninen moreenipato	++	+(+)	+(+)
Vyöhykepato	+++	++(+)	+(+)
Louhepato	+++	++(+)	++(+)
Rikastushiekkakorotus	+	++(+)	+++

Alla olevissa kappaleissa on verrattu erilaisten patotyyppien vahvuuksia (+) ja heikkouksia (–) (Taulukko 45):

Homogeeninen moreenipato

- + selkeä rakentaa, yksi materiaali
- + edullinen, mikäli voidaan hyödyntää kaivoksen maanpoistomassoja
- tarvitaan paljon luonnonmateriaalia, mikäli ei voida hyödyntää kaivoksen maanpoistomassoja
- kuivan luiskan vettymisriski → mahdolliset stabiliteettiongelmat
- tilantarve suurempi kuin louherakenteilla.

Vyöhykepato

- + suotovesien hallinta helpompaa kuin homogeenisellä maapadolla → parempi stabiliteetti
- + kokonaismassat pienempiä kuin homogeenisessä maapadossa
- + louherunkoa voidaan rakentaa talvityönä
- + tilantarve pienempi, luiskat jyrkemmät louheesta kuin moreenista
- monimutkaisempi rakentaa
- eri materiaalien tarve, joista osa (suodatin) joudutaan murskaamaan tai hankkimaan ulkopuolelta
- luonnonmateriaalien tarve suuri, mikäli ei voida hyödyntää kaivoksen sivukiveä ja maanpoistomassoja.

Louhepato

- + suotovesien hallinta helpompaa kuin homogeenisellä maapadolla → parempi stabiliteetti
- + kokonaismassat pienemmät kuin muissa padoissa
- + louherunkoa voidaan rakentaa talvityönä
- + tilantarve pienempi, luiskat jyrkemmät louheesta kuin moreenista
- + yksinkertaisempi rakentaa kuin vyöhykepato
- + kestää hyvin nopean vedenpinnan laskun varsinkin geosynteetillä tiivistettynä
- luonnonmateriaalien tarve suuri, mikäli ei voida hyödyntää kaivoksen sivukiveä ja maanpoistomassoja.

Rikastushiekkapato

- + edullinen rakentaa, sillä materiaali on valmiiksi kohteessa; luonnonmateriaalien tarve vähäinen
- peruspato tehtävä luonnonmateriaaleista (moreenista)
- patoturvallisuuden vuoksi ei voida tehdä kerralla suuria korotuksia
- altis eroosiolle, luiskat verhoiltava moreenilla tai kiviheitokkeella
- vapaa vesi ei voi olla suoraan patoa vasten → kuivan rannan, ns. beachin osuuden on oltava riittävän pitkä
- rikastushiekan rapautuminen voi heikentää stabiliteettia pitkällä aikavälillä.

8.3.2.4

Vesien hallinta ja puhdistusmenetelmät

Kaivosalueen vesien hallinnan lähtökohtana tulee olla kaivosalueelle ympäristöstä tulevien luonnon vesien (nk. puhtaat vedet) erottaminen kaivostoiminnan jätevesistä ja kaivosalueella muodostuvista, mahdollisesti haitta-aineita sisältävistä valumavesistä. Vesien hallinnan paras käytäntö on vähentää tuoreen veden käyttötarvetta ja lisätä veden sisäistä kiertoa. Vesien puhdistuksen suunnittelun ja puhdistusmenetelmän valinnan tulee perustua seuraaviin selvityksiin ja arviointeihin (lisätietoja INAP 2009, EC 2009):

- Selvitetään puhdistettavien vesien kemiallinen ja fysikaalinen laatu, ja valitaan laadun perusteella puhdistusmenetelmä, suunnitellaan puhdistamon rakenteet ja asetetaan tavoitteet puhdistetun veden laadulle.
- Arvioidaan happamien (ARD) ja/tai neutraalien metallipitoisten vesien muodostumisen potentiaalisuus ja määrä, happamuuden vaihtelu eri keräysjärjestelmän kohteissa sekä happamuuden vuodenaikais- ja keskipitkän ajan vaihtelu.
- Selvitetään prosessivesien kemikaalijäämien ja kuivanapitovesien räjähdysainejäämien esiintyminen ja määrä sekä seurataan niiden määrällistä vaihtelua. Selvitysten perusteella arvioidaan kemikaalien erillistä puhdistamista rikastamalla tai prosessitehtaassa (esim. syanidi) ja räjähdysaineiden osalta louhostilassa ennen vesien johtamista ulkotilassa oleville puhdistuslaitteille.
- Laaditaan vesien joustava hallinta-, puhdistus- ja seurantajärjestelmä, jossa huomioidaan lyhytaikaisen toiminnan muutosten lisäksi keskipitkän ajan muutokset ja kaivostoiminnan jälkeiset jälkihoitoratkaisut. Tähän liittyy myös varotoimenpiteiden suunnittelu ennalta-arvaamattomien päästöjen haittojen torjumiseksi (kunnostustoimenpiteet).
- Arvioidaan vesien hallintajärjestelmän toimivuus ja mitoitetaan puhdistustavoitteet ympäristöriskien vähentämiseksi (ympäristön asukkaat ja luonto).
- Arvioidaan ilmastollisten tekijöiden vaikutus puhdistettavien vesien määrän pitkäaikaisvaihteluun ja puhdistuskapasiteetin riittävyyteen. Laaditaan varosuunnitelmat sään äärioloille (tulva, myrsky, kuivuus).
- Arvioidaan puhdistusprosesseissa syntyvä lietemäärä, lietteen koostumus ja kemiallinen tila (saostumayhdisteiden pysyvyys-liukenevuus eri oloissa) sekä suunnitellaan näiden pohjalta puhdistamoaltaiden jälkihoito. Tässä tulisi huomioida myös lietteeseen rikastuneiden alkuaineiden ja yhdisteiden hyötykäyttömahdollisuudet.

Aktiivisia jätevesien puhdistusmenetelmiä ovat (lisätietoja INAP 2009, myös Taulukko 34, luku 6.2.2.1):

- alkalikäsittely (kalkki, lipeä, kalkkikivijauhe) jäteveden neutraloimiseksi ja metallien saostamiseksi hydroksideina, sulfaatti- ja/karbonaattisuoloina,
- ilmastus (hapen lisäys) raudan ja mangaanin hapettamiseksi ja saostamiseksi,
- hapettimen lisäys, esim. ferrisulfaattia arseenin poistamiseksi,
- typen mikrobiologinen poisto (nitrifikaatio, denitrifikaatio),
- sulfaatin kemiallinen saostaminen (bariumsulfaatti, ettringiitti),
- sulfaatin mikrobiologinen pelkistys, metallisulfidien mikrobiologinen saostus (elektroni- ja hiililähteen lisäys),
- kalvosuodatus (käänteisosmoosio/nanosuodatinkalvo), jota mahdollisesti edeltää veden haihdutuskäsittely,
- ioninvaihtohartsisuodatus (zeoliitti),
- kemiallinen metallisulfidien saostus (Na_2S -/NaHS-/FeS-/CaS-lisäys).

Passiivisia jätevesien puhdistusmenetelmiä ovat (lisätietoja INAP 2009, PIRAMID Consortium 2003, ks. myös Taulukko 34, luku 6.2.2.1):

- aerobinen kosteikkokäsittely (matala vesiallas, ilmastus, hidas virtaus, kiintoaineksen laskeutuminen, leväkasvu),
- anaerobiset kosteikkoaltaat (syvä vesiallas $\geq 1,5$ m, sulfaatin pelkistys, pohjarakenteen kalkkikiven liukeneminen, mätänevää orgaanista ainesta),
- pelkistävä ja alkalisuutta lisäävä kosteikkoallaskäsittely (raudan ja sulfaatin pelkistäminen, alkalisuuden nosto),
- anaerobinen kalkkiojakäsittely (alkalisuuden nosto),
- aerobinen (avoin) kalkkiojakäsittely (hapetus, alkalisuuden nosto).

In situ -puhdistusmenetelmiä ovat mm. (lisätietoja INAP 2009):

- kaivannaisjätteen tai kaivostoiminnan pilaaman maaperän peittäminen alkalisella materiaalilla,
- kaivoskuilu- tai avolouhosveden käsittely kemikaali- tai bakteerilisäyksellä (edistää metallien / metalloidien saostumista metalli-/metalloidisulfideina tai pidättymistä rauta- tai muihin hydroksioksidisaostumiin),
- kaivosalueen ja/tai kaivannaisjätteen peittäminen orgaanisella maa-aineksella, mikä voi vähentää alueen pölyämistä ja sen myötä pintavesikontaminaatiota; voi parantaa myös kunnostuskohteen valumavesien laatua.
- reaktiivisten seinämien rakentaminen kohteisiin, joista leviää kontaminoivia vesiä ympäristön pohjaveteen ja/tai pintaveteen.
- alkalisen suspensiolietteen injektointi happoa tuottavaan jäteainekseen tai pilaantuneeseen maaperään.

Taulukossa 46 on verrattu aktiivisten ja passiivisten puhdistusmenetelmien laadullista soveltuvuutta. Prosessivesien puhdistukseen soveltuvat parhaiten aktiiviset puhdistusmenetelmät, jotka voivat sisältää useita eri puhdistusvaiheita (ks. Kuva 42 luvussa 8.3.3.2). Louhosten kuivanapitovesien käsittelyyn voivat soveltua niin aktiiviset kuin passiiviset puhdistusmenetelmät (esim. pintavalutuskenttä) puhdistettavan veden kemiallisen laadun mukaisesti. Kemiallisten menetelmien käyttö kuivanapitovesien käsittelyssä edellyttää yleensä kiintoaineksen laskeutusta ennen varsinaista kemiallista puhdistusta. Passiiviset puhdistusmenetelmät soveltuvat yleensä parhaiten pienten jätevesimäärien ($\leq 1\,000\text{ m}^3/\text{pv}$), kuten jälkihoidettujen läjitysalueiden suotovesien puhdistamiseen (INAP 2009).

8.3.3

Kaivostoiminnan tuotantovaihe

Tuotantovaiheen parasta ympäristökäytäntöä on seurata suunnitelmien mukaisten toimintatavoitteiden toteutumista ja kehittää tuotantoprosessia päästöjen ja ympäristövaikutusten vähentämiseksi. Toiminnan kehittämisen perustaksi laaditaan ympäristönhallintajärjestelmä, jossa määritetään:

- kestävän kehityksen mukainen ympäristöpolitiikka,
- ympäristötavoitteet ja niihin sitoutumisaikataulu sekä
- pitkä ajan toiminnan kehittämistavoitteet ja toteutuksen aikataulu (ks. myös taulukko 41, luku 8.3.1).

Taulukko 46. Kaivostoiminnan jätevesien puhdistusmenetelmien laadullinen vertailu. (Lisätietoja INAP 2009, EC 2009)

Toiminta- ja ominaispiirrekuvaus	Aktiivinen puhdistus	Passiivinen puhdistus	In situ (kohteellinen) puhdistus
Kaivostoimintavaihe	Soveltuvin koelouhinta- ja tuotantovaiheessa, koska puhdistus vaatii aktiivista toiminnan säätöä, ylläpitoa ja valvontaa	Suosittelavin kaivosalueen sulkemis- ja läjitysalueiden jälkihoitovaiheessa, koska puhdistaminen vaatii vain ajoittaista valvontaa ja toimivuuden seurantaa.	Soveltuvin tutkimus- ja tuotantovaiheessa, koska puhdistus vaatii aktiivista toiminnan säätöä, ylläpitoa ja valvontaa
Toimintavaateet	Aktiivinen ja jatkuva puhdistuskoneiston toiminta; vaatii ylläpitojärjestelmän ja käyttö- ja/tai valvontahenkilöstön	Ei vaadi pysyvää käyttöhenkilöstöä tai koneistoa, mutta säännöllinen puhdistuksen toimintavarmuus tärkeä	Vaatii aktiivista ja jatkuvaa käyttöhenkilöstöä, mutta ei pysyvästi toimintapaikkaan sidottuna
Työpanokset ja materiaalitarve	Vaatii kemikaaleja, käyttö- ja ylläpitohenkilöstöä, sähköenergiaa, jatkuvaa ja/tai määrävällein toistuvaa seurantaa	Itsesäätely; voi vaatia kausiluonteista tarkkailua, ajoittaista kunnostus- tai laajennusrakentamista (rakennemateriaalien lisäystä/vaihtoa)	Vaatii kemikaaleja, käyttöhenkilöstöä, ajoittaista toiminnan ylläpitohuoltoa, sähköenergiaa, kausiluonteista tarkkailua
Energiasyöttö	Sähkö- ja mekaaniset energialähteet	Luontaiset energialähteet: gravitaatio, auringon säteily, biokemiallinen energia	Sähkö- ja mekaaniset energialähteet
Hallinta ja valvontavaateet	Vaatii jatkuvaa sitoutumista toimintaan; pysyvä käyttö- ja valvontahenkilöstö	Kausiluonteinen sitoutuminen toiminnan tarkkailuun; ei vaadi pysyvää käyttöhenkilöstöä	Vaatii jatkuvaa valvontahenkilöstöä, muttei pysyvästi sidottuna toimintapaikkaan
Soveltuvuusrajat: – virtaus ja vesimäärä, – puhdistettavat aineet	Soveltuu kaikille virtausnopeuksille ja vesimäärille (erityisesti isojen vesitilavuuksien puhdistukseen) ja minkä tahansa yhdisteen tai alkuaineen poistoon	Soveltuu hitaasti virtaaville vesille, happamuuden, metallien ja sulfaatin poistoon	Soveltuu kaikille virtausnopeuksille ja vesimäärille; lähinnä happamuuden ja metallien poistoon
Puhdistuksen taso (veden laatutavoitteet)	Puhdistusprosessi voidaan rakentaa soveltuvaksi veden laadulle asetettujen tavoitteiden mukaisesti	Puhdistetun veden laatu voi vaihdella ja olla ajoittain heikko riippuen valitusta puhdistusjärjestelmästä	Puhdistetun veden laatu voi vaihdella ja olla ajoittain heikompi kuin mitä saavutetaan aktiivisella puhdistuksella
Puhdistusliete ja suolasaostumat	Muodostuu hienojakoista lietettä ja erilaisia helppoliukoisia suolasaostumia (karbonaatti, sulfaatti, hydroksidi, kloridi jne); vaatii sijoituspaikan jälkihoitoa	Ei muodostu helppoliukoisia suolasaostumia, vaan pysyviä sulfidisaostumia, mutta vaatii rajoituksia kosteikkoalueen käytölle (ei kuivatusta)	Muodostuu hienojakoista lietettä, joka tulee sijoittaa jätealueelle tai jälkihoitaa puhdistuskohteessa
Pääoman tarve (investointi)	Suuret investointikustannukset ja ajoittainen pääoman jälleenhankintavaade	Kohtalaiset investointikustannukset sisältäen mahdollisen kunnostamis-/parantamisrakentamisen	Pienet investointikustannukset puhdistustarpeen lyhytaikaisuuteen perustuen
Käyttö- ja ylläpito-kustannukset	Suuret käyttö- ja ylläpito-kustannukset sisältäen puhdistetun veden kierrätyskustannukset, jätevedestä mahdollisesti erotettavien sivutuotteiden (metallien) prosessointikustannukset	Pienet käyttö- ja ylläpito-kustannukset	Kohtalaiset käyttökustannukset, mutta kemikaalien käyttökustannukset voi olla suuret puhdistustehotomuden takia

Kehittämistavoitteet sisältävät mm.:

- seuranta- ja toimenpideohjelmat eri päästötyypeille,
- päästöjen vähentämistavoitteet ja aikataulun vähentämistoimenpiteille,
- suunnitelmat materiaalien ekotehokkaalle käytölle (esim. kierrätys, jätteiden lajittelu ja hyötykäyttö),
- ekotehokkuuden kehittämisen ja
- strategian tiedottamiselle (mm. päästöt ja häiriöt).

Lisäksi ympäristöhallintajärjestelmä sisältää toimenpideohjeita / asiakirjoja (lisätietoja EC 2009, Environment Canada 2009) kuten

- päästöjen seurantatulosten dokumentointi,
- jätehuoltosuunnitelman päivitykset,
- toimintamenetelmien muutosten dokumentointi (mm. malminprosessointi, vesien hallinta ja puhdistus, savukaasujen neutralointi ja puhdistus),
- huolto- ja kunnostusohjelma ja tehdyt toimenpiteet,
- eri toimintojen vastuuhenkilöt (+pätevyyskuvaus) ja tehtävät, koulutussuunnitelma ja toteutunut koulutus,
- sisäisen ja ulkoisen viestinnän ohjeet,
- varotoimenpideohjeet onnettomuuksien ennaltaehkäisyyn, toteutettujen toimenpiteiden dokumentointi,
- ympäristövahingot ja korjaamistoimenpiteet,
- pelastussuunnitelma vaaratilanteille (henkilöstö, ympäristö),
- työtapaturmat,
- pelastusharjoitukset ja -koulutus,
- auditointi,
- viranomaistarkastukset ja tarkastuspöytäkirjat.

Taulukkoon 47 on koottu päästöjen vähentämiseen liittyviä selvityksiä ja toimenpiteitä. Tässä lähtökohtana ovat toiminnan aikainen todellisten päästökohteiden kartoitus ja päästöjen seurantatulokset sekä niiden pohjalta laadittu arvio muista potentiaalisista päästökohteista, jos toimintaa kasvatetaan ja/tai prosesseja muutetaan. Vähentämistekniikoiden valintaan ja kehittämiseen liittyy myös sovellusten kustannusvertailu suhteessa saavutettuun päästövähennykseen ja sen myötä ympäristövaikutusten pienenemiseen. Vähentämistoimenpiteitä päästöittäin on kuvattu luvussa 6.2. Alla olevissa kappaleissa on lueteltu pöly-, kaas- ja vesipäästöjen vähentämistoimenpiteitä ja -tekniikoita.

Pölyn leviämistä kaivosalueelta kauemmaksi ympäristöön vähentää:

- puustovyöhyke kaivosalueen ja etenkin kaivannaisjätealueiden ympärillä,
- topografiset esteet (vallit/luonnon mäet),
- suljettujen läjitysalueiden peittäminen ja kasvittaminen,
- kuivuneiden läjitysalueiden kasteleminen esimerkiksi vedellä, kalkkimaidolla tai bitumiemulsiolla tai hienojakoisten jätteiden sijoittaminen veden alle (vesipeitto),
- räjäytyskenttien kasteleminen, räjäytyksen panostuksen oikea mitoittaminen, räjäytyksen vaiheistaminen (pölynpoistojärjestelmät maanalaisessa kaivoksessa),
- porauspölyjen imu ja käsittely,
- malmin ja sivukiven kuljetusreittien kasteleminen, autojen renkaiden pesu,
- pölynsidonta-aineiden käyttäminen kuljetusreiteillä,
- pitkien matkojen kuormien peittäminen,
- murskauksen ja seulonnan sijoittaminen suljettuun tilaan/maan alle,

- murskauksen pölynpoistojärjestelmä (imuri, sähköinen laskeutus, kotelointi, pesu/kastelu, suodatus) ja laitteiden säännöllinen huolto,
- malmirikasteiden kuivatuksen lämpötilan säätö, suodatusjärjestelmä ja kotelointi,
- hajapäästöjen kartoittaminen ja niiden vähentämiseen liittyvien toimenpiteiden toteuttaminen laadittujen suunnitelmien ja aikataulujen mukaisesti.

Kaasupäästöjä vähentää:

- räjäytyksen panostus oikealla mitoituksella ja vaiheistuksella,
- pienipäästöisten räjähdyskemikaalien käyttäminen,
- maanalaisen kaivoksen tuuletus ja poistoilman puhdistus,
- pienipäästöisten koneiden valinta ja kaluston säännöllinen huoltaminen,
- prosessi- ja puhdistinlaitteiden jatkuva käyttöseuranta, riittävän usein toistuva laitteiston huolto,
- malmin rikastuksesta syntyvien kaasupäästöjen talteenoton ja puhdistamisen tehostaminen (neutralointi, hapettaminen/pelkistäminen). Tässä keskeistä on kemikaalien valinta ja annostus.

Vesipäästöjen vähentämiskeinoja ovat mm. seuraavat:

- Lisätään prosessivesien ja/tai kuivanapitovesien kierrätystä ja vähennetään raakaveden käyttötarvetta. Seurataan jatkuvasti vesivirtoja ja -tasetta.
- Ohjataan vesien puhdistuskäsittelyyn vain likaisia vesiä ja erotetaan luonnon puhtaat valumavedet kaivosalueen ohi.
- Kehitetään malmin prosessointitekniikkaa prosessiveden käyttötarvetta vähentävään suuntaan.
- Seurataan prosessikemikaalien kulutusta, poistovesien kemikaalipitoisuuksia sekä niiden jäämiä. Tehostetaan tarvittaessa veden puhdistusta.
- Vähennetään kaivosalueen hajakuormitusta mm. seuraavilla toimenpiteillä
 - rakennetaan kaivannaisjätealueille ja jätevesialueille tiiviit pohja- ja pato-rakenteet,
 - kerätään jätealueiden ympäristöä pilaavat valuma- ja suotovedet puhdistukseen,
 - rakennetaan tiivis pohjarakenne ja kate malmin varastoalueelle ja lastausalueelle,
 - kerätään malmin ja sivukivien kuljetusreittien pilaantuneita ojavesiä puhdistukseen,
 - tarkistetaan ja huolletaan säännöllisesti putkiston kunto.

Melua ja tärinää voidaan vähentää:

- valitsemalla hiljaista tekniikkaa,
- kapseloimalla melun lähteitä,
- rakentamalla meluvalleja,
- sijoittamalla murskaus ja seulonta maan alle,
- vaiheistamalla räjäytyksen panostus ja mitoittamalla räjähdyskemikaalin annostus tärinää vähentäväksi,
- ajoittamalla melua ja tärinää tuottava toiminta yhteisön hyväksymään ajankohdan,
- huomioimalla melun torjunta kaikissa toiminnassa.

Taulukko 47. Kaivostöiminnan aikaisten päästöjen hallinta ja päästöjen vähentämiseen liittyviä selvityksiä ja toimenpiteitä. (Lisätietoja Environment Canada 2009, EC 2009)

Melun ja värinän hallinta	Ilman laatu-tekijöiden hallinta
<ul style="list-style-type: none"> Tunnistetaan todelliset ja mahdolliset päästökohteet; huomioidaan meluntorjunta kaikessa toiminnassa Vaimennetaan melun ja värinän lähteitä valitsemalla hiljaista tekniikkaa, kapseloimalla melun lähteitä, meluvalleilla, ajoittamalla melua ja värinää tuottava toiminta yhteisön hyväksymään ajankohtaan (mm. liikennöinnin rajoittaminen päiväaikaan) Huomioidaan melun ja värinän vaikutukset ympäröivän metsäluonnon eliöstölle ja vesistön kalastolle rakentamalla suojavyöhykkeitä (meluvalli, topografian muutokset) Laaditaan mittauksien perusteella pitkän ajan melu- ja värinatason vähentämissuunnitelma ja seurataan suunnitelman toteutusta Henkilöstön koulutus 	<ul style="list-style-type: none"> Tehdään päästökohteiden kartoitus ja paikkakohtaiset selvitykset ilman laadusta <ul style="list-style-type: none"> kasvihuonekaasut muut savukaasut ja hajut (SO₂, NO₂, H₂S) liikennepäästöt pienpartikkeleiden (10 µm) määrä ja mahdollisesti myös laatu Selvitetään päästöjen suuruutta ja laatua säätelevät tekijät ja arvioidaan päästöjen terveys- ja ekologiset riskit Laaditaan päästöjen seurantaohjelma ja tehdään mittauksen perusteella suunnitelma päästöjen vähentämiseksi lyhyellä ja pitkällä aika välillä (ks. kappale 6.2.1) sekä seurataan vähentämissuunnitelman toteutusta Tehostetaan päästöjen puhdistusta tai kehitetään tehokkaampia puhdistusmenetelmiä, mikäli mittaus-tulokset ylittävät sallitut päästönormit Laitekäyttäjien ja päästömittauksista vastaavan henkilöstön koulutus
Vesipäästöjen hallinta	Kaivannaisjätteiden hallinta
<ul style="list-style-type: none"> Kartoitetaan todelliset ja mahdolliset pilaantuneiden vesien päästölähteet (hajakuormituskohteet) ja laaditaan päästölähteittäin seurantasuunnitelma sekä päivitetään suunnitteluvaiheessa laaditut varotoimenpiteet sään äärioloille Seurantatulosten mukaan ohjataan eri päästölähteistä vesiä puhdistettavaksi joko samaan puhdistamoon tai veden laadun mukaisesti jälkikäsittelyyn tai suoraan vesistöön, mikäli vedet täyttävät luonnon veden laatu-kriteerit Seurantatulosten mukaan tehostetaan tarvittaessa vesien puhdistusta (vesien puhdistusmenetelmät kuvat 42-43, luku 8.3.3.2); raportoidaan muutokset ja tehdyt parannustoimet Laaditaan vesipäästöjen pitkän ajan vähentämissuunnitelma (veden sisäinen kierrätys, veden käytön tehostaminen) ja seurataan suunnitelman toteutusta (taulukot 33 ja 34, luku 6.2.2) Vesiputkien, putkien vesipaineen ja avo-ojien kunnon (kiintoainestäyttö, ojaseinämien sortumat) säännöllinen tarkistus ja kunnostus tarkistustulosten mukaan; koulutetaan valvontahenkilöitä Kaluston huolto ja kunnossapito katetuissa, öljynerotimilla varustelluissa tiloissa Poltonesteen jakelun keskittäminen asianmukaisesti rakennetuilla jakeluasemilla; riittävät suoja- ja varoallastilavuudet kemikaalien varastointialueilla ja prosesseissa Jatkuvatoimiset pääpäästölähteiden mittaukset ja tulosten hyödyntäminen prosessiajossa ja kehittämis-toimenpiteissä 	<ul style="list-style-type: none"> Päivitetään kaivannaisjätteiden fysikaaliset ja kemialliset ominaisuustiedot toiminnan aikana (muutokset malmiesiintymän geologiassa tai malmikiven prosessoinnissa) Seurataan kaivannaisjätteiden kemiallista muutuntaa läjitysalueilla ja suotovesien laatua; tulosten mukaan tehostetaan suotovesien keräystä ja puhdistusta, tehdään kunnostustoimenpiteitä jätteiden kemiallisen stabiilisuuden ylläpitämiseksi (hapon muodostuksen/haitallisten alkuaineiden liukenemisen esto) Aloitetaan jälkihoitotyöt täyttyneiden läjitysalueiden osalta; sijoitetaan sivukiviä ja/tai sekätäytettä rikastushiekkejätettä suljettuihin avolouhoksiin/avolouhososiin ja/tai maanalaisiin onkaloihin Koulutetaan jätealueiden valvontahenkilöitä Seurataan jätealueiden pölyämistä; toteutetaan suunnitelmien mukaista pölyämisen torjuntaa Seurataan läjitysalueiden pato- ja pohjarakenteiden tilaa; tulosten mukaan tehdään tarvittavaa kunnostusta Seurataan jätealueiden vaikutuksia ympäristön pohjavesiin, alapuolisiin pintavesiin, luontoon ja lähiasutukseen Raportoidaan kaikki seurantatiedot ja havainnot sekä toteutetut kunnostukset

Sosiaalisia vaikutuksia vähentäviä tai lieventäviä toimenpiteitä ovat esim. seuraavat:

- Vuorovaikutteisen tiedon kulun ja keskustelun ylläpito toiminnanharjoittajan ja paikallisten asukkaiden kesken (säännöllinen tiedonvaihto, hyvien suhteiden ylläpito). Lisäksi on olennaista täyttää tietovaje asiantuntijatiedolla ennen kuin se täyttyy muualta saatavalla tiedolla.
- Toiminnanharjoittaja huolehtii työntekijöiden ja heidän perheittensä elinoloista ja viihtyvyydestä myös työajan ulkopuolella.
- Toiminnanharjoittaja osallistuu aktiivisesti (vapaaehtoisesti) yhteiskunnallisten palveluiden kehittämiseen esim. mahdollisten haittojen kompensointiin erilaisilla sosiaali- ja terveyssektorin ohjelmilla tai koulusektorin ja/tai vapaa-ajan toiminnan tukemisella julkisten tai yksityisten palveluidentuottajien kautta. Kompensaatioissa on usein kysymys halusta lähteä avoimeen keskusteluun; paikallisesti toimivia keinoja kompensatioiden toteuttamiseen voidaan löytää vuorovaikutteisen suunnittelun keinoin.
- Kaivostoiminnan suunnittelun aikana huomioidaan YVA-vaiheessa esitetyt negatiiviset sosiaaliset vaikutukset, erityisesti kaivoksen lähialueen asukkaiden näkökulmasta. Oleellista on edesauttaa alueen elinkelpoisuuden ja toimintamahdollisuuksien säilyminen kaivoksen toiminnan päättymisen jälkeen. Erityisesti on varmistettava mahdollisen pysyvän asutuksen muuntuminen ja käyttökelpoisuus uusiin käyttötarkoituksiin. Asukkaiden toiveina on usein esitetty kaivosalueen jälkikäyttö muuhun elinkeinotoimintaan, esim. matkailuun.

8.3.3.1

Kaivannaisjätteiden ja jätealueiden päästöjen hallinta ja vähentäminen

Kaivannaisjätteiden hallintaa ohjaa keskeisesti jätteiden kemialliset ja fysikaaliset ominaisuudet (ks. Taulukko 47). Ominaisuudet tulee päivittää toiminnan aikana, mikäli malmityyppi ja sen myötä sivukivien laatu tai malmikiven erotusprosessi muuttuu toiminnan aikana. Jätteiden hallinnan lähtökohtana on ominaisuuksien mukainen jätelajien luokittelu hyötykäytettäväksi (sivutuotteiksi) ja hyötykäyttöön kelpaamattomiksi, pitkäaikaissijoitukseen läjitettäväksi (ks. luku 8.3.2.1). Potentiaalisesti tulevaisuudessa hyödynnettävät jätelajit voivat sisältyä jälkimmäiseen ryhmään, mikä tulee huomioida niiden sijoittamisessa. Paras ympäristökäytäntö kaivannaisjättemäärien vähentämiselle on:

- lisätä sivutuotteiden määrää ja vähentää pitkäaikaiseen läjitykseen läjitettävien jätelajien määrää kehittämällä malmikiven prosessointia,
- sijoittaa sivukiviä ja rikastushiekkaa maanalaissiin kaivosonkaloihin ja/tai avolouhoksen täytteeksi louhinnan päätyttyä.

Jätealueiden ympäristövaikutuksia vähentävät:

- tiiviit pohja- ja patorakenteet (mm. vähennetään hapon muodostusta ja pohjaveden pilaantumista).
- läjitysten kuiva- tai vesipeitto niiltä osin kuin se on mahdollista (pölyämisen ja/tai suotovesien määrän vähentäminen ja laadun parantaminen).
- läjitysalueiden valumavesien kerääminen puhdistukseen (hajakuormituksen vähentäminen).
- patopenkkojen verhoaminen louheella tai synteettisellä kankaalla ja murskeella, tai peittämällä pinnat kasvualustalla ja nurmettamalla ne (pölyäminen).
- prosessikemikaalien poisto ennen rikastushiekan tai lietesakan sijoittamista jätealueelle (esim. syanidin hajotus).
- jätealueita ympäröivien keräysojien kunnon säännöllinen tarkistus ja kunnostus, kuten esim. kiintoaineksen poisto, sortumien tukkiminen ja ojan syvyyden lisääminen.

Jätealueiden jatkuvalla kunnostuksella voidaan (hyödyt):

- vähentää jäteaineksen pölyämistä, penkereiden eroosiota ja kiintoaineksen leviämistä ympäristöön (sedimentaatio),
- vähentää toiminnan päättymisen jälkeisiä alueen kunnostuksen ja jälkihoidon kustannuksia,
- kunnostaa valikoivasti kohteita, joissa on havaittu päästöjen poikkeavaa leviämistä ympäristöön,
- seurata kunnostuksen/jälkihoitomenetelmän toimivuutta ja vaihtaa tarvittaessa parempaan jälkihoitomenetelmään, mikäli päästöjen väheneminen ei ole tavoitteiden mukaista.

8.3.3.2

Vesien hallinta ja puhdistusmenetelmät

Toiminnan aikana suurin osa puhdistettavista jätevesistä muodostuu malmin prosessoinnista ja avolouhoksen ja/tai maanalaisen kaivoksen kuivanapitovesistä sekä jätealueiden valumavesistä (ks. luvut 6.2.2 ja 6.2.3). Valumavesien määrä on useimmiten huomattavasti pienempi kuin prosessi- tai kuivanapitovesien määrä. Puhdistettavia vesiä voi syntyä myös kaivosalueen muissa kohteissa kuten malmin kuljetusreiteillä, malmikiven ja malmituotteiden varastoalueilla. Myös näiltä alueilta valumavedet tulee kerätä ja ohjata puhdistukseen, jos haitallisena pidettävien alkuaineiden pitoisuudet ylittävät ympäristöalueen luontaiset pitoisuustasot.

Vesien hallinnan kehittämisessä on keskeistä (Taulukko 47, luku 8.3.3)

- kartoittaa todelliset ja mahdolliset vesipäästölähteet,
- mitata tai arvioida päästölähteittäin veden kemiallinen laatu (tarkkailu); kehittää ja toteuttaa jatkuvatoimista vesien laadun, vesivirtojen ja vesitaseiden mittausta etenkin pääpäästövesikohteisiin,
- laatia toimenpidesuunnitelmat mahdollisille poikkeamille vesipäästöissä ja häiriötilanteiden tiedotukselle (henkilöstö, paikalliset asukkaat),
- ohjata tarkkailutulosten mukaan likaiset vedet joko keskitetysti samaan puhdistamoyksikköön tai päästökohtaisesti eri puhdistamoyksikköihin,
- päivittää vesipäästölähteiden kartoitus toiminnan laajentuessa tai muuttuessa esim. jos malmiesiintymätyyppi ja malmin prosessointi muuttuvat,
- laatia varotoimenpiteet sään äärioloille (esim. varoaltaat tulvien varalta, vesien keräysaltaat kuivan kauden varalle).

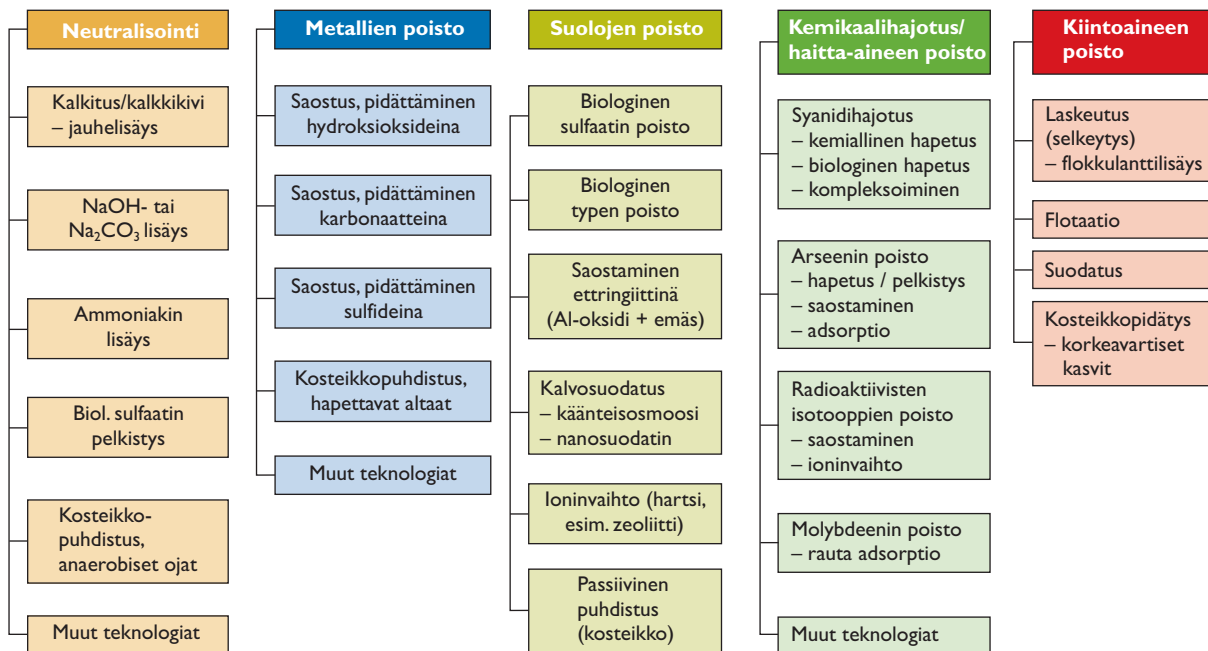
Parhaan ympäristökäytännön mukaisen kaivostoiminnan jätevesien hallinnan ja puhdistuksen tulee täyttää seuraavat kriteerit:

- Saavutetaan sellainen puhdistustaso, joka mahdollistaa puhdistetun veden mahdollisimman suuren kierrätyksen vedentarpeen mukaan eri toimintakohteisiin.
- Jätevesien keräys ja puhdistuskemikaalien käyttö (ja varastointi) järjestetään siten, ettei siitä ole vaaraa ihmisterveydelle kaivosalueella ja sen lähiympäristössä.
- Luonnon vesistöön juoksutettavan päästöveden laatu ei aiheuta merkittävää pilaantumista alapuolisessa vesistössä (veden fysikaalinen ja kemiallinen laatu ja/tai eliöstön biodiversiteetti lyhyellä ja pitkällä aikavälillä).
- Veden puhdistuksessa syntyvät saostumaliitteet varastoidaan niiden haitallisuusasteen mukaan joko tiivisrakenteisiin tai osittain tiivisrakenteisiin altaisiin (ks. luku 8.3.2.2).
- Puhdistetun veden keskeisinä laatukriteereinä ovat riittävän alhaiset:
 - haitta-ainepitoisuudet (metallit ja/tai metalloidit, kemikaalit ja/tai kemikaalijäämät),

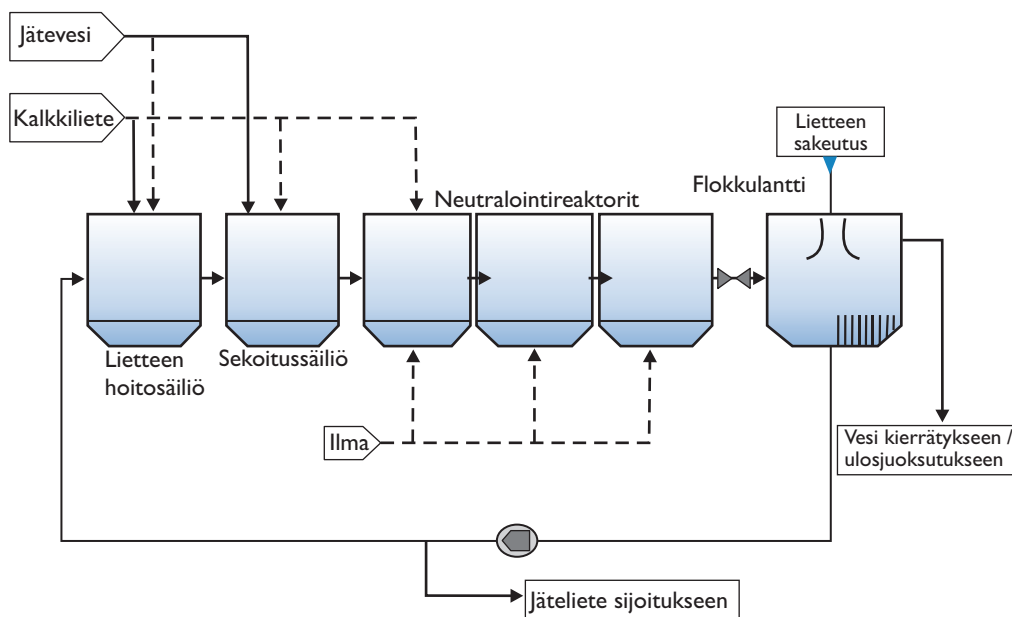
- vesistön rehevöitymistä lisäävien tai ravinnetasapainoa häiritsevien alkuaineiden (N, P, C, S, Ca, Mg, K, Na) pitoisuudet,
- happoa potentiaalisesti tuottavien alkuaineiden pitoisuudet ja/tai yhdisteiden pitoisuudet (esim. Fe, Mn, Al, SO_4 , tiyohdisteet) tai
- alkalisuutta lisäävien yhdisteiden pitoisuudet (esim. kalkki, lipeä), ja
- kiintoainepitoisuudet.

Vesien puhdistusmenetelmiä toimintaperiaatteittain on lueteltu kuvassa 42 (ks. Taulukko 34, luku 6.2.2.1). Kuvan 42 ylimmissä laatikoissa on puhdistuksen keskeisin toimintaperiaate ja niiden alla on lueteltu menetelmiä, joihin neutralointi tai alkuaineen ja/tai suolayhdisteen saostaminen kiintoaineksi perustuu. Osa kuvassa esitetyistä menetelmistä on kuvattu lyhyesti luvussa 8.3.2.4 (lisätietoja INAP 2009). Kuvassa 43 on esitetty kaavio jäteveden neutralointiin ja ilmastukseen perustuvasta tehdasmaisesta puhdistamosta, joka soveltuu raudan ja muiden metallien saostamiseen ja kiintoaineksen poistoon.

Jäte- ja valumavesien käsittely- ja puhdistusmenetelmiä



Kuva 42. Jätevesien puhdistusmenetelmiä (lisätietoja INAP 2009, EC 2009). Ylimmissä laatikoissa on jäteveden puhdistuksen päätoimintoperiaate ja niiden alla on lueteltu puhdistusmenetelmät, joihin neutralointi tai alkuaineen ja/tai yhdisteen saostaminen perustuu.



Kuva 43. Kaaviokuva jätevesien tehdasmaisesta puhdistuksesta perustuen neutralointireaktioihin (metallien saostaminen, kiintoaineksen poisto, lisätietoja INAP 2009).

8.3.3.3

Patojen korotus

Tuotantovaiheessa kaivosaltaiden patoja korotetaan muutaman vuoden välein varastotilavuuden lisäämiseksi. Parasta ympäristötekniikkaa on tehdä patokorotukset joko louheesta ja/tai moreenista (ks. luku 8.3.2.3). Korotuksiin voidaan käyttää myös rikastushiekkaa, mikäli se soveltuu korotukseen geoteknisten ja ympäristökelpoisuusominaisuuksiensa puolesta. Rikastushiekkaa ei ole suositeltavaa käyttää patorakenteisiin, jos se sisältää haitallisia määriä esim. happoa tuottavia rautasulfideja ja/tai haitallisenä pidettäviä alkuaineita tai yhdisteitä. Korotukseen käytettävää rikastushiekkaa kaivetaan padon sisäpuolelta, jossa materiaali on yleensä karkeampaa, ja nostetaan padon päälle ”kuivumaan” ennen tiivistämistä ja tasoittamista padoksi. Karkeampi rikastushiekka suotautuu riittävän kuivaksi kestävän padon rakentamista varten. Kaivospatojen suositeltava korotustekniikka on alavirtaan täyttö (vrt. luku 5.4.4).

Patoturvallisuuden tarkkailun ja onnettomuustilanteisiin varautumisen parhaita ympäristökäytäntöjä on kuvattu luvussa 8.1.

8.4

Kaivoksen sulkeminen ja jälkihoito

Kaivostoiminnan päätyttyä kaivosalue jälkihoidetaan ja suljetaan. Sulkemisen tavoitteena on saattaa alue ihmisille ja ympäristölle turvalliseksi, ja sovittaa alue ympäristöönsä ja ympäröivään maisemaan mahdollisimman hyvin.

Sulkemisen kannalta parasta ympäristökäytäntöä ovat:

- Sulkemisen huomioiminen, sulkemisen tavoitteiden asettaminen ja sulkemistoimenpiteiden suunnittelu mahdollisimman varhaisessa vaiheessa kaivostoiminnan elinkaarta, huomioiden kohteen erityispiirteet
 - Yksityiskohtaisen suunnitelman laatiminen kaivoksilla, joiden toiminta-ajan odotetaan olevan lyhyt, mahdollisimman aikaisin
 - Yksityiskohtaisen suunnitelman tulisi perustua riskinarviointiin
- Sulkemissuunnitelman päivittäminen toiminnan aikana vastaamaan toiminnassa tapahtuneita muutoksia

- Taloudellinen varautuminen kaivoksen sulkemiseen toiminnan aikana
- Alueen maankäytön optimointi: alueen jatkokäyttömahdollisuuksien arvioiminen, suunnittelu ja toteuttaminen – ja/tai alueen mukauttaminen biologisesti monimuotoiseksi elinympäristöksi
- Tarpeettomien rakenteiden sekä koneiden ja laitteiden purkaminen ja/tai poistaminen alueelta (ilman, että mahdollinen myöhempi kaivostoiminta alueella vaarantuu, jos esiintymään on jäänyt vielä louhimiskelpoista malmia)
- Purkumateriaalien hyödyntäminen ja/tai kierrättäminen
- Parhaiden ympäristökäytäntöjen noudattaminen kaivannaisjätteiden läjitysalueiden ja louhostilojen sulkemisessa (vrt. luvut 8.4.1 ja 8.4.2), vesien käsittelyssä ja pilaantuneiden maiden kunnostuksessa
 - Kohteeseen jäävien rakenteiden fysikaalisen ja kemiallisen stabiliteetin varmistaminen
 - Turvallisuusriskejä aiheuttavien rakenteiden ja rakennelmien poistaminen tai vaarattomaksi tekeminen
 - Päästölähteiden poistaminen tai hallinta (esim. vesien käsittely)
- Jälkihoitotoimenpiteiden toimivuuden varmistaminen seurannalla (esim. vesien käsittely, läjitysalueiden peittorakenteet ja padot) ja tarvittaviin korjaustoimenpiteisiin ryhtyminen tarvittaessa
- Sulkemisen kielteisten sosio-ekonomisten vaikutusten minimoiminen ja paikallisen yhteisön tarpeiden huomioiminen (esim. virkistyskäytön rajoitukset)
- Avoin tiedottaminen sulkemisesta ja alueen jälkihoidosta.

Kaivosten sulkemiseen liittyviä teknisiä ratkaisuja on kuvattu yksityiskohtaisemmin Kaivoksen sulkemisen käsikirjassa (Heikkinen *et al.* 2005). Alla olevissa kappaleissa on käsitelty syvällisemmin kaivosalueelle toiminnan jälkeen jäävien kaivannaisjätteiden läjitysalueiden ja louhosten/louhostilojen sulkemista ja jälkihoitoa.

8.4.1

Läjitysalueiden sulkeminen ja jälkihoito

Läjitysalueiden sulkemisen suunnittelua ja jälkihoitomenetelmän valintaa ohjaavat:

- jätteen fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet,
- sijoituspaikka,
- toteutettu läjitustekniikka,
- läjitysalueen pohja- ja patorakenteet ja
- kaivostoiminnan aikaiset, todennetut ympäristövaikutukset ja mahdolliset jälkihoidon jälkeiset ympäristövaikutukset tai niiden esiintymisen todennäköisyys (pitkän ajan ympäristöriskit).

Jälkihoidon tavoitteena on saattaa läjitysalue ympäristölle turvalliseen tilaan ja minimoida pitkän ajan ympäristövaikutuksia ja erityisesti estää haittavaikutusten syntymä. Läjitysalueiden sulkeminen edellyttää aina nykytilakartoituksen päivitystä, joka sisältää:

- läjitysalueen toiminnan aikaiset tarkkailutulokset,
- tiedot läjitysalueen kemiallisen muuttumisen tilasta,
- tiedot läjitysalueen vesitaseista,
- arviot ja/tai mittaukset pohja- ja patorakenteiden kunnosta (todetut vuodot tai tihkut, potentiaaliset vuotokohteet, padon sortumisriskinarviointi) ja
- selvitykset tehtyjen kunnostusten ja suljettujen läjitysalueiden peittorakenteiden toimivuudesta ja arviot niiden vaikutuksista päästöjen laatuun ja määrään (pöly, vesipäästöt).

Jätealueiden maisemointi, peittorakenteet ja vesien hallinta ja käsittely

Maisemointi liittyy olennaisesti jätealueiden sulkemis- ja jälkihoitotöihin. Jälkihoitotöiden suunnittelu aloitetaan kaivoksen yleissuunnitteluvaiheessa. Tämä edesauttaa huomioimaan myös jälkihoidon ja maisemoinnin sekä siihen tarvittavien maamassojen määrän ja niiden vaatiman tilan. Maisemointityön suunnitteluun ja toteutukseen liittyy mm. seuraavaa:

- Kaivostoiminnan aikataulutusta suunnitellaan mahdollisuuksien mukaan siten, että läjitysalueiden maisemointia voidaan tehdä samaan aikaan kuin maanpoistoa, jolloin vältetään materiaalin väliläjitys ja vähennetään massasiirtojen kuljetuskustannuksia.
- Maisemointisuunnittelu tehdään alan ammattilaisen toimesta (maisema-arkkitehti tms.)
- Maisemointia tehdään osana päivittäistä kaivostoimintaa ja sen suunnittelua, eikä ainoastaan toiminnan loppuvaiheessa tai sen päättymisen jälkeen.
- Kartoitetaan maisemoinnissa tarvittavien massojen saatavuus ja varataan niille sijoituspaikat.
- Peittorakenteiden ja patoluiskien kasvittaminen aloitetaan mahdollisimman nopeasti peittokerroksen levittämisen jälkeen, jotta vältetään peittoaineksen eroosio ja pölyäminen. Tämä toimenpide nopeuttaa suljetun alueen maisemointumista ympäristöönsä.
- Vähennetään lammikoiden muodostumista peittorakenteen päälle ja estetään peittorakenteen kulumista (virtaavan veden vaikutuksesta) sade- ja sulamisvesien ohjailulla ja rakentamalla eroosiosuojia veden kulkureiteille, esimerkiksi reunaluiskilla (patovyöhyke).
- Nopeutetaan kasvillisuuden muodostumista peittorakenteen päälle kylvämällä heinäkasveja. Sen jälkeen alueelle istutettavien puiden tai luontaisesti leviävän kasvillisuuden mahdollisuudet paranevat.
- Huomioidaan istutettavien ja/tai siemennettävien kasvilajien valinnassa peittorakenteen ominaisuudet ja paikalliset ilmasto- ja kasvuolot.
 - Valitaan lyhytjuurisia kasveja, jos peittorakenteen tulee pysyä tiiviinä ja vähentää veden ja hapen kulkeutumista jätteainekseen. Juurien pituuskasvu voi vahingoittaa peittorakennetta ja heikentää sen toimivuutta.
 - Tiiviskerroksen vaurioita voidaan vähentää myös riittävän paksulla kasvualustalla ja estämällä pitkäjuuristen puiden leviäminen.
- Toiminnan aikaisella maisemoinnilla ja läjitysalueiden peitolla voidaan vähentää jätealueiden ympäristövaikutuksia, ja siten myös lopullisen jälkihoidon kustannuksia.

Jätealueiden peittotapa valitaan jätteen pitkäaikaiskäyttämisen perusteella. Peiton tavoitteena voi jätteen laadusta riippuen olla pölyämisen ja/tai jätteen kemiallisen ja fysikaalisen rapautumisen estäminen (vrt. luku 6.3.1). Parhaan käytännön mukaiset peittoratkaisut ovat kuivapeitto tai märkä peitto. Alla on kuvattu näiden peittojen ominaisuuksia ja taulukossa 48 on esitetty eri peittoratkaisujen soveltuvuus eri jätetyypeille.

Kuivapeitto

Kuivapeittorakenne voi koostua yhdestä maa-aineskerroksesta tai useamman maa-aineksen ja/tai synteettisen materiaalin kerrosrakenteesta. Kerrosrakenteen ominaisuuksia ja paksuuksia sekä läjityksen veden hallintaa on kuvattu jätetyypeittäin taulukossa 48. Peittorakenteelta vaadittavat ominaisuudet määräytyvät jälkihoidolle asetettujen tavoitteiden mukaisesti. Kuivapeiton tulee:

- pidättää sadevettä kasvien käyttöön (kasvualusta kasvitukselle),
- johtaa hyvin vettä pintavesien keräämiseksi (salaojakerros pintaosassa),

- vähentää jätteeseen kulkeutuvan veden määrää (tiiviskerros),
- rajoittaa hapen kulkeutumista peiton läpi jäteainekseen,
 - happea kuluttava peittorakenne (esim. kosteikko),
 - vettä pidättävä hienoainespitoinen peittorakenne, joka hidastaa hapen kulkeutumista alaspäin (pastapeitto),
- lisätä peiton läpi suotautuvan veden alkalisuutta; alkalipitoinen kerros voi toimia myös kemiallisena suojakerroksena heikentäen jättemateriaalin ja peittomateriaalien vuorovaikutusreaktioita,
- estää suolapitoisten jätevesien kapillaarisen nousun ja sen myötä saostumisen yläpuolisiin peittorakenteisiin (karkea peittorakenne, alin) (Lottermoser 2007).

Taulukko 48. Läjitysalueiden jälkihoitomenetelmiä, niiden soveltuvuus eri jätetyypeille ja vesien hallinta. (Lisätietoja EC 2009, Lottermoser 2007, INAP 2009)

Läjitysalueiden jälkihoitomenetelmä	Menetelmän periaate ja soveltuvuus eri jätetyypeille	Vesien keräys ja puhdistus
Kuivapeitto		
1-kerrospeitto	Läjitysalue peitetään orgaanista ainesta sisältävällä mineraalimaalla / moreenilla ja kasvukerroksella (kerrospaksuus 0,5–1 m), joka mahdollistaa alueen kasvittamisen (heinä + puusto). Menetelmä soveltuu happoa tuottamattoman jätealueen (sivukivi, rikastushiekka) maisemointiin ja jätealueille, joissa potentiaalisesti haitallisten aineiden pitkän ajan liukenevuus on pieni tai hallittavissa ohjaamalla vedet puhdistukseen.	Puhtaat pintavedet erotetaan mahdollisista, likaisista läjityksen suotovesistä. Likaiset vedet ohjataan puhdistukseen (imeytyskenttä / rakennetut kosteikkoaltaat).
2-kerrospeitto		
Monikerrospeitto sisältäen hapen kulkeutumista estävän, vettä pidättävän kerroksen	Kuivapeitto toteutetaan monikerrospeittona, jolla vähennetään hapen kulkeutumista läjitykseen. Menetelmä soveltuu happoa tuottamattoman tai heikosti happoa tuottavan (sis. haitallisia metalleja/metallioideja) sivukivijätteen jälkihoitoon.	Puhtaat pintavedet johdetaan erikseen läjitykseen valuvista ja ulossuotautuvista vesistä. Suotovedet puhdistetaan joko aktiivisella tai passiivisella puhdistusmenetelmällä.
Monikerrospeitto sisältäen hapen kulkeutumista hidastavan ja hapen kulutusta lisäävän kerroksen	Peitto toteutetaan monikerrospeittona, jolla estetään hapen kulkeutuminen läjitykseen. Peitossa on happea kuluttava, orgaanista ainesta sisältävä kerros, joka estää hapen pääsyn sulfideja sisältävään jätteeseen. Happea kuluttava kerros voi olla allasmainen kosteikkopainanne, jossa kasvien mätänemisreaktiot kuluttavat happea. Menetelmä soveltuu happoa tuottavan (sis. haitallisia metalleja/metallioideja) rikastushiekka-altaan jälkihoitoon.	
Peitto karbonaattisella rikastushiekalla / hienorakeisella, neutralointia lisäävällä ja hapen kulkeutumista hidastavalla jätteellä (pastapeitto)	Läjitysalue peitetään karbonaattipitoisella, hienorakeisella rikastushiekalla tai kivi- tai mineraalijauheella (Mg- ja / Ca-silikaatti±karbonaatti), joka pidättää sadevettä ja jonka vajovesi on emäksinen ¹⁾ . Peittorakenne [pastapeitto ≥(1,5–2) m] hidastaa hapen diffuusiota ja lisää jätteen neutralointikapasiteettia. Soveltuu happoa tuottavan rikastushiekan jälkihoitoon.	Sadevesien annetaan imeytyä läjitykseen. Läjityksestä suotavat vedet ohjataan puhdistukseen; joko aktiivinen tai passiivinen puhdistus.
Tiivispeitto (sis. synteettisiä materiaaleja)	Peittorakenne sisältää veden läpikulkeutumista estävän peittokerroksen (HDPE-kalvo +/- bentoniittimatto). Synteettinen peittorakenne edellyttää yläpuolisen (suoja auringon valolle, kasvualusta) ja alapuolisen suojakerroksen (pistekuormituksen esto, vuorovaikutuksen esto) ja huolellisen saumauksen. Vesitiivis kerros estää hapen kulkeutumisen läjitykseen. Peittorakenne soveltuu happoa tuottaville rikastushiekka- ja sakkalietejätealtainen jälkihoitoon. Bentoniittimaton käyttösoveltuvuus edellyttää, ettei rakenne kuivu (kuivumisrakoja) eikä siinä tapahdu kationinvaihtoreaktioita ²⁾ .	Puhtaat pintavedet johdetaan läjitysalueelta ojitukseen pois; estetään puuston leviäminen. Reunaluiskista ja padoista suotavat likaiset vedet ohjataan puhdistukseen. Aktiivinen ja/tai passiivinen puhdistus.

¹⁾ Räisänen & Juntunen 2004, Räisänen 2005

²⁾ INAP 2009, <http://www.gardguide.com>

Synteettisten materiaalien käyttö peittorakenteissa voi merkittävästi vähentää veden ja hapen kulkeutumista jätteeseen. Synteettinen materiaali voi koostua:

- polyetyleenikalvosta (PE, HDPE, LLDPE, CPE, DuPont™ HYPALON®, PVC), ja/tai
- geosynteettisestä savikalvosta (GCLs), tai
- kumibitumikermistä.

Synteettisten kalvorakenteiden rakentamisessa ja käytön aikaisessa valvonnassa on huomioitava seuraavaa:

- Kalvot ovat herkkiä muuttumaan auringon valossa (halkeileminen/murentuminen) ja siksi ne on suojattava riittävän paksulla maa-aineksella.
- Kalvojen murtumisen estämiseksi on osien saumausta tehtävä erityisen huolella (säätötilavaikutteinen) ja ammattitaidolla.
- Kalvon alapuolelle, ja sivukiviläjäytyksissä myös yläpuolelle, on rakennettava riittävän paksu suojakerros, joka estää pistemäiset kuormitukset ja kalvon rikkoutumisen esim. teräväsärmäisten kivien tai hiekkarakeiden vaikutuksesta. Suojakerroksen maa-aineksen raekoon tulisi olla pienempi kuin kalvon paksuus.
- Ylä- ja alapuolisten suojakerrosten paksuuden valinnassa on huomioitava myös jälkihoidon aikainen kasan liikenne.
- Kalvorakenteen sijoittaminen luiskapenkereille vaatii stabiilisuuden tutkimista ja sen mukaan rinnekaltevuuden loiventamisen.
- Kalvorakenteiden valinnassa ja suunnittelussa on huomioitava jätteen pitkäaikaisessa muutunnassa mahdollisesti syntyvät kaasut ja/tai lämpöreaktiot (lämpölaajeneminen).

Vesipeitto tai osittainen vesipeitto (märkäpeitto)

Kaivannaisjätteen sijoittaminen veden alle tai peittäminen riittävän paksulla vesikerroksella on nykytietämyksen mukaan paras jälkihoitomenetelmä estämään tai hidastamaan rautasulfidien hapettumista ja sitä seuraavaa haitallisten aineiden liukenemista (Tremblay & Hogan 2001, EC 2009, INAP 2009, Eriksson *et al.* 2001). Tämä perustuu hapen hitaaseen liukenemiseen ja kulkeutumiseen (diffuusioon) vedessä verrattuna ilmaan. Tarvittavan vesikerroksen paksuus riippuu peitettävän alueen laajuudesta sekä kohteen tuulisuudesta ja tuulen aiheuttamasta veden vertikaalisen sekoittumisen syvyydestä. Suomessa veden sekoittumista (täyskierto) tapahtuu keväällä jääkannen sulamisvesivaiheessa ja syksyllä syysmyrskyjen aikana pintavesikerrosten sekoittuessa alempiin vesikerroksiin. Veden sekoittuminen voidaan estää esimerkiksi veden alaisilla moreenipeitteisillä harjanteilla. Jätealtaissa, joissa vesisyvyys ei ole riittävä hapen kulkeutumisen estämiseksi, jäteainesta peitetään sulfidivapaalla moreenilla tai muulla hienoainespitoisella kiviaineksella (0,5–1 m kerros).

Taulukossa 49 on kuvattu vesipeiton soveltuvuutta erilaisille jätteen sijoitustavoille ja läjitysalueen vesien hallintaa. Vesipeitto soveltuu rikastushiekka-altaan jälkihoitoon, jos altaassa on tiiviit pato- ja pohjarakenteet (ks. luvut 8.3.2.2 ja 8.3.2.3). Mikäli pohjarakenteet ovat vesitiiviitä ja patorakenteet kestävät vesipinnan vähäisen vaihtelun (riittävä kuivavyöhyke), rikastushiekkajäte voidaan pitää suurelta osin veden kyllästämänä muotoilemalla keskiosaan sadevesiä (ja lumensulamisvesiä) keräävä allas (märkäpeitto, Kuva 41). Vesipinnan korkeutta jätteessä voidaan vaihtoehtoisesta säädellä myös tulvittamalla, jos jäteallas sijaitsee painanteessa (Alakangas 2006). Tulvitus voidaan tehdä joko pohjavesipintaa nostamalla (ei-vesitiivis pohja) tai johtamalla pintavesiä altaaseen. Vesipeittoa käytetään myös louhostäyttöjen jälkihoitona, mikäli avolouhos täyttyy riittävän paksulla vesikerroksella (ks. luku 8.4.2).

Taulukko 49. Vesipeitto, osittainen vesipeitto ja muut mahdolliset (tulevaisuuden) jälkihoitomenetelmät.
(Lisätietoja EC 2009, INAP 2009)

Läjitäsaluuden jälkihoitomenetelmä	Menetelmän periaate ja soveltuvuus eri jätetyypeille	Vesien keräys ja puhdistus
Vesipeitto tai osittainen vesipeitto		
Vesipeitto	Hapen diffuusio veteen on 30 kertaa pienempi kuin ilmassa, mikä hidastaa hapen kulkeutumista läjitykseen. Diffuusiota voidaan matalassa vesipeitossa (<2 m) parantaa peittämällä jäte hienorakeisella moreenilla ¹⁾ . Menetelmä soveltuu happoa tuottaville rikastushiekka-altaalle, joissa on tiivis-pohja- ja patorakenteet tai louhokseen sijoitetuille happoa muodostaville sivukiville tai sivukivien ja rikastushiekan sekatäytölle. Louhostäytössä kallion pohjavesi ja louhokseen satava pintavesi muodostavat vesipeitteen. Kalliopohjavesi-kontaminaatiota voidaan vähentää täyttämällä kallioseinän ja jätteen väli hienojakoisella suodatintäytteellä (kivijauhe/sulfidivapaa rikastushiekka). Louhostäyttö ei sovellu, jos louhokseen purkautuu kallioraosta hapellista pohjavettä.	Vedellä peitetyn jätealtaan vesipintaa on säädeltävä ja rakennettava vesien juoksutukselle yliteuoma tai poistoputki; mahdolliset likaiset vedet ohjattava puhdistukseen; aktiivinen tai passiivinen puhdistus
Louhostäyttö ja vesipeitto		
Märkäpeitto, osittainen vesipeitto (kosteikkokate)	Jätealue muotoillaan keskiosasta allasmaiseksi sadevesiä ja lumen sulamisvesiä kerääväksi. Altaan keskiosassa vesipinta on lähellä maanpintaa ja sen yläpuolella. Läjityksen vesipinta laskee reunoja kohden. Soveltuu heikosti happoa tuottaville tai yhdessä pastapeitteen kanssa happoa tuottaville rikastushiekka-altaalle, jotka on sijoitettu laaksoon ²⁾ . Menetelmä edellyttää reunaluiskien / patojen vahvistamista kestämään vesipinnan vuotuisen vaihtelun ja vesitiivistä tai osittain vesitiivistä pohjarakennetta.	Sadevesien annetaan imeytyä läjitykseen. Läjityksestä suotavat vedet ohjataan puhdistukseen; joko aktiivinen tai passiivinen puhdistus
Läjitäsaluuden tulvitus	Läjitäsaluulle johdetaan pintavesiä tai pohjavettä, minkä seurauksena vesipinta nousee jätteessä pintaan. Tämä edesauttaa jätteen pysymistä vedellä kyllästyneenä. Soveltuu happoa tuottavan rikastushiekan läjitäsaluulle, jossa pohjavettä/pintavettä voidaan hallitusti johtaa reuna-alueilta ja pohjan kautta läjitykseen ³⁾ .	Tulvitetun jätealtaan vesipintaa on säädeltävä ja rakennettava vesien juoksutukselle yliteuoma; mahdolliset likaiset vedet ohjattava puhdistukseen; aktiivinen tai passiivinen puhdistus
Muut jälkihoitomenetelmät (koetutkimusvaiheessa)		
Rautasulfidien poisto (depyritisaatio)	Jäte prosessoidaan uudelleen ja poistetaan rautasulfidit, jolloin jäte muuttuu happoa tuottamattomaksi. Jätteen uudelleenprosessoinnissa voidaan poistaa myös muita hyötykäyttöäviä mineraaleja / alkuaineita (sulfidivaahdotus).	Jätteen uudelleen prosessointi voi vähentää vesien puhdistustarvetta.
Kemikaalilisäys, passivointi	Jätteeseen imeytetään happea kuluttavaa kemikaalia tai ainetta, joka peittää rautasulfidirakeet ja estää kontaktin hapen kanssa.	Jätteen ympäristökelpoisuuden parantaminen vaikuttaa jätealueen valumavesien puhdistustarpeeseen.

¹⁾ Ljungberg et al. 1997, Eriksson et al. 2001

²⁾ Räisänen 2005, Heikkinen et al. 2009

³⁾ Alakangas et al. 2006

Vesien hallinta ja käsittely

Jätealueiden peittämisen lisäksi jätealueiden jälkihoito edellyttää tavallisesti jätealueilta suotautuvien vesien keräämistä ja puhdistamista. Parhaan käytännön mukaisesti vesien käsittelyssä tulisi huomioida seuraavaa:

- puhtaat luonnon vedet ohjataan erilleen jätealueiden suoto- ja valumavesistä ja jälkimmäiset kootaan käsiteltäviksi,
- vesien käsittelytarve ja -ratkaisut tehdään käsiteltävien vesien laadun ja määrän perusteella; pitkäaikaisarviot laadusta ja määrästä pohjataan esim. geokemialliseen mallinnukseen,
- puhdistuksessa käytetään vastaavia aktiivisia ja passiivisia menetelmiä kuin toiminnan ajanakin (Kuva 43, luku 8.3.3.2),
- toiminnan päättymisen jälkeen on usein tarkoituksenmukaista pyrkiä käyttämään passiivisia menetelmiä, jotka edellyttävät vähemmän ylläpitoa ja huoltoa kuin aktiiviset menetelmät; on kuitenkin huomattava, etteivät passiiviset menetelmät sovellu kaikentyyppisille vesille, ja niiden toimintavarmuus on usein heikompi kuin aktiivisilla menetelmillä,
- toiminnan jälkeiselle vesien käsittelylle varataan riittävästi tilaa jo toiminnan aikana,
- vesien puhdistuksessa tulee myös arvioida, voidaanko vesistä tai puhdistuksessa syntyneistä sakoista ottaa talteen arvometalleja tai muita arvoaineita (esim. kipsi, karbonaatit), tai hyödyntää esim. sakkoja raaka-aineina jossain muussa teollisuudessa (esim. pigmenttien tai nanopiin tuotanto, rikki- ja magnesiumsuolat); näin voidaan vähentää loppusijoitusta tarvitsevien sakkojen määrää ja vähentää niiden sisältämien ympäristölle haitallisten aineiden määrää, sekä kattaa puhdistuksessa muodostuvia kustannuksia,
- vesien puhdistuksessa muodostuvat, hyötykäyttöön soveltumattomat sakat loppusijoitetaan niiden kemiallisen, mineralogisen ja liukoisuusominaisuuksien perusteella asianmukaisille kaatopaikoille,
- sekä aktiiviset että passiiviset vesien puhdistusratkaisut edellyttävät jatkuvaa veden laadun seurantaa, jolla varmistetaan, että puhdistus toimii moitteettomasti
- vesien käsittelyä jatketaan niin kauan, että veden laatu täyttää ympäristöön johdettaville vesille asetetut kriteerit (vrt. luku 8.3.3.2 ja ks. myös INAP 2009).

Taulukkoon 49 on koottu eri jätealueiden peittoratkaisuille soveltuvia vesien hallinta- ja käsittelymenetelmiä.

8.4.2

Louhosalueiden jälkihoito

Louhosalueiden jälkihoidon tavoitteena tulee olla niiden fysikaalisen turvallisuuden varmistaminen, sopeuttaminen mahdollisuuksien mukaan maisemaan ja kaivosvesistä ympäristön vesille aiheutuvan kontaminaation estäminen.

Kaivostilojen ja avolouhoksen fysikaalinen turvallisuus voidaan varmistaa:

- loiventamalla avolouhosten sortumavaaroja aiheuttavat pystysuorat tai jyrkät kallioseinämät,
- estämällä kaivostilojen sortumat ja painumat täyttämällä tai lujittamalla sortumavaaralliset alueet,
- täyttämällä joko kiviaineksella tai vedellä avolouhokset sortumien estämiseksi ja ulkopuolisten pääsyn rajoittamiseksi,

- estämällä ulkopuolisten pääsy kaivostiloihin sulkemalla kaivokseen johtavat tunnelit ja ilmanvaihtokuilut ja/tai sulkemalla kaivokseen johtavat tiet ja
- rajaamalla ja merkitsemällä varoituskylteillä mahdolliset alueelle jäävät sortuma- ja painumavaaralliset alueet (edellyttää säännöllisiä tarkastuksia kylttien ja aitausten toimivuuden varmistamiseksi).

Louhostilat ja avolouhos voidaan sopeuttaa ympäröivään maisemaan muotoilemalla ja kasvittamalla louhosta ympäröivä maapinta. Avolouhoksessa maanpoistoalueen reunat voidaan muotoilla jo maanpoiston päättyessä lopullista, louhinnan päättymisen jälkeistä maisemointia helpottavaksi.

Kaivosvesistä ympäristön vesille aiheutuva pilaantuminen riippuu mm.:

- malmiesiintymän mineralogisesta ja kemiallisesta koostumuksesta, sekä hydraulisista ominaisuuksista (ruhjeisuus),
- louhosseinämien rapautuneisuudesta,
- ympäröivän kallioperän ja maaperän hydraulista ominaisuuksista, sekä
- louhokseen sijoitettavista kaivannaisjättemateriaaleista ja niiden koostumuksesta.

Kaivosvesistä aiheutuvaa ympäristön vesien pilaantumista voidaan estää/vähentää:

- passivoimalla tuoreet reaktiiviset kaivosseinämät pinnoitteilla jo toiminnan aikana,
- poistamalla louhoksesta ja kaivostiloista tarpeeton ja pilaantumista aiheuttava infrastruktuuri, laitteisto ja materiaalit/kemikaalit,
- arvioimalla ja kartoittamalla kaivosvesipäästöjen mahdollisuudet (virtausreitit, virtaamat, veden laatu):
 - virtausreittien (esim. hyvin vettä johtavien ruhjeiden ja rakojen) tukkiminen, hydraulisten sulkujen rakentaminen,
 - vesien keräys ja käsittely tarvittaessa,
- varmistamalla, että louhos/louhostilat täyttyvät vedellä:
 - tarvittaessa vedellä täyttymisen nopeuttaminen pumppaamalla vettä louhokseen,
- varmistamalla teknisesti, ettei kaivostiloihin sijoitetuista kaivannaisjättemateriaaleista aiheudu vesien pilaantumista:
 - kaivannaisjätteiden kapselointi tai vuoraaminen vettä johtavammilla maa-aineksilla,
 - eristämällä kaivannaisjätteet riittävän paksulla vesikerroksella,
- käsittelemällä kaivosvedet joko louhoksessa tai puhdistamalla louhoksen ylivuotovedet joko aktiivisesti tai passiivisesti:
 - biologinen tai kemiallinen *in situ* -käsittely (esim. sulfaatinpelkistäjäbakteerit, alkalinen käsittely),
 - ylivuotovesien käsittely vastaavilla aktiivisilla tai passiivisilla menetelmillä kuin toiminnan aikana (vrt. luku 8.3.3.2.),
 - louhosvesien pumppaaminen käsittelylaitokseen puhdistettavaksi,
- varmistamalla monitoroinnilla, että valittu vesien käsittely on toimiva ja riittävä.

Lähteet

- Alakangas, L., Lundberg, A., Corrége, O. & Öhlander, B. 2006. Changes of groundwater quality in sulphide-bearing mine-tailings after remediation at Kristineberg, northern Sweden. Manuscript. Julk: L. Alakangas. Sulphide oxidation, oxygen diffusion and metal mobility in sulphide-bearing mine tailings in northern Sweden. Doctoral Thesis 2006:27. Luleå University of Technology, Department of Chemical Engineering and Geosciences, Division of Applied Geology. ISSN: 1402-1544 ISRN: LTU-Dt-06/27-SE.
- AMEC 2010. Code of Environmental Practice for Mineral Exploration in Western Australia. Association of Mining and Exploration Companies (AMC) & the Chamber of Minerals and Energy of Western Australia. Full version – October 2010. 15 s.
<http://www.cmewa.com/UserDir/CMEPublications/Code%20of%20Environmental%20Practice%20for%20Mineral%20Exploration%20in%20Western%20Australia%20%20Full%20Version%20FINAL213.pdf>
- Anttonen, M., Heikkinen M., Karjalainen, T.P. & Reinikainen K. 2010. Soklin kaivoshankkeen sosioekonomisten vaikutusten arviointi. Yara Suomi Oy.
- Arizona Chemical 2008. Sylvapine™421. Safety data sheet. http://www.arizonachemical.com/Global/MSDS/EU_MSDS/SYLVAPINE%e2%84%a2%20421_English.pdf. Luettu 26.5.2010.
- BC AMD 1989. Draft Acid Rock Drainage Technical Guide. British Columbia Acid Mine Drainage Task Force (BC AMD). BiTech Publishers Ltd., Vancouver, BC.
- Bertilis, U., Björklund, I., Borg, H. & Hörnström, E. 1986. Biological effects of xanthates. Report no 3112 from the National Swedish Environment Protection Board. Solna, Sweden.
- Blowes, D. W. & Ptacek, C. J. 1994. Acid-neutralization Mechanisms in Inactive Mine Tailings. Julk: J. L. Jambor & D. W. Blowes (Eds.). The Environmental Geochemistry of Sulfide Mine-wastes. Mineralogical Association of Canada. Short Course Handbook, Volume 22: 271-292.
- Carlson, L., Hänninen, P. & Vanhala, H. 2002. Ylöjärven Paroistenjärven kaivosalueen nykytilan selvitys. Geologian tutkimuskeskus, arkistoraportti. S/41/0000/3/2002. 54 s.
- CICAD 2003. Hydrogen sulphide: Human health aspects. Concise International Chemical Assessment Document (CICAD) 53. WHO. <http://www.who.int/ipcs/publications/cicad/en/cicad53.pdf>
- Cravotta, C. A. III, Brady, K. B. C., Rose, A. W. & Douds, J. B. 1999. Frequency Distribution of the pH of Coal-Mine Drainage in Pennsylvania. Julk: D. W. Morganwalp & H. Buxton (Eds.). United State Geological Survey Toxic Substances Hydrology Program. Proceedings of the Technical Meeting, Charleston South Carolina, March 8-12, 1999, Volume 1 of 3. Contamination from Hard-Rock Mining. U.S. Geological Survey Water-Resources Investigation Report 99-4018A: 313-324.
- EBRC 2008. HERAG. Health Risk Assessment Guidance for Metals. <http://www.ebrc.de/ebrc/ebrc-projects.php>
- EC 2001. Assessment of plans and projects significantly affecting Natura 2000 sites. Methodological guidance on the provisions of Article 6(3) and (4) of the Habitats Directive 92/43/EEC. European Commission (EC), Environment DG. European Communities 2002. http://ec.europa.eu/environment/nature/natura2000/management/docs/art6/natura_2000_assess_en.pdf. Luettu 19.3.2010.
- EC 2009. Reference document on Best Available Techniques for Management of Tailings and Waste-Rock in Mining Activities. January 2009. European Commission (EC). 511 s. ftp://ftp.jrc.es/pub/eippcb/doc/mmr_adopted_0109.pdf. Luettu 7.9. 2010.
- Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus 2011. Ympäristövaikutusten arviointi YVA ja SOVA. <http://www.ely-keskus.fi/fi/Ymparisto/Ymparistonsuojelu/yva/Sivut/default.aspx>. Luettu 5.9. 2011.
- Environment Canada 2009. Environmental Code of Practice for Metal Mines. 1/MM/17, Mining Section, Mining and Processing Division, Public and Resources Sectors Directorate, Environmental Stewardship Branch, Environment Canada. <http://www.ec.gc.ca/lcpe-cepa/documents/codes/mm/mm-eng.pdf>
- Eriksson, N., Lindvall, M. & Sandberg, M. 2001. A quantitative evaluation of effectiveness of the water cover at the Stekenjokk tailings pond in northern Sweden: Eight years of follow-up. Securing the Future, International Conference on Mining and the Environment, Skellefteå June 25 – July 1, 2001. Proceedings, Volume 1: 216-227.
- Grönholm, S. 1994. Influence of mineral composition and microstructures on the mechanical properties of host rocks of the Kemi (Elijärvi) chromite deposit, Finland. Geologian tutkimuskeskus, Tutkimusraportti 126. 36 s.
- GTK 2006. GTK:n malminetsintäryhmän raportti. Julkaisematon raportti 27.9.2006 / Dnro E/482/032/2006.
- Hakapää, A. & Lappalainen, P. (toim.). 2009. Kaivos- ja louhintatekniikka. Kaivannaisteollisuusyhdistys ry, opetushallitus. Vammalan kirjapaino Oy. 383 s.
- Heikkinen, P. 2000. Haitta-aineiden sitoutuminen ja kulkeutuminen maaperässä. Geologian tutkimuskeskus, tutkimusraportti 150. 74 s.
- Heikkinen, P. M. 2009. Active sulphide mine tailings impoundments as sources of contaminated drainage: controlling factors, methods of characterization and geochemical constraints for mitigation. Geological Survey of Finland, Espoo. 38 s. 7 figures and 2 tables. Original articles I-IV. ISBN-952-217-085-9.

- Heikkinen, P. M., Korkka-Niemi, K., Lahti, M. & Salonen, V.-P. 2002. Groundwater and surface water contamination in the area of the Hitura nickel mine, western Finland. *Environmental Geology* 42 (4): 313-329.
- Heikkinen, P. M., Noras, P., Mroueh, U.-M., Vahanne, P., Wahlström, M., Kaartinen, T., Juvankoski, M., Vestola, E., Mäkelä, E., Leino, T., Kosonen, M., Hatakka, T., Jarva, J., Kauppila, T., Leveinen, J., Lintinen, P., Suomela, P., Pöyry, H., Vallius, P., Tolla, P. & Komppa, V. 2005. Kaivoksen sulkemisen käsikirja. Kaivostoiminnan ympäristötekniikka. Outokumpu Oyj, Tieliikelaitos, Maa ja Vesi Oy, GTK ja VTT. Vammalan kirjapaino, Vammala. 165 s. ISBN 951-690-941-8.
- Heikkinen, P. M., Räisänen, M. L. & Johnson, R. H. 2009. Geochemical characterization of seepage and drainage water quality from two sulphide mine tailings impoundments: Acid mine drainage vs. neutral mine drainage. *Mine Water and the Environment* 28, 30-49.
- Hernesniemi, H., Berg-Andersson, B., Rantala, O. & Suni, P. 2011. Kalliosta kullaksi, kummusta klusteriksi. Suomen mineraaliklusterin vaikuttavuusselvitys. Elinkeinoelämän Tutkimuslaitos ETLA. Taloustieto Oy. Unigrafia, Oy Helsinki. ETLA B252. ISBN 978-951-628-526-2. ISBN 978-951-628-527-9 (PDF). http://www.etla.fi/files/2668_kalliosta_kullaksi_kummusta_klusteriksi.pdf.
- Holm J. & Leskelä A., 1979. Padot. Julk: S. Mustonen (toim.). Vesirakenteiden suunnittelu, Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL 123. s. 53–112.
- Hukki, R. T. 1964. Mineraalien hienonnus ja rikastus. Helsinki, Otava. 656 s.
- ICMM 2007. MERAG. Metals Environmental Risk Assessment Guidance. <http://www.icmm.com/page/1185/metals-environmental-risk-assessment-guidance-merag>
- Idman, H. & Kahra, A. (toim.). 2007. Malminetsintä ja kaivostoiminta suojelualueilla sekä saamelaiden kotiseutalueella ja poronhoitoalueella: opas. KTM julkaisuja 28/2007. 86 s.
- INAP 2009. The GARDGuide. The Global Acid Rock Drainage Guide. The International Network for Acid Prevention (INAP). <http://www.gardguide.com/> Luettu 10.11.2010.
- Itä-Suomen ympäristölupavirasto 2007. Tulikivi Oyj. Huutojoen uoman siirtäminen Vaaralammen kaivospiirin alueella ja töiden aloittamislupa, Juuka. Itä-Suomen ympäristölupavirasto. Päätös Nro 76/07/2, Dnro ISY-2005-Y-324. 9.7.2007.
- Jokimäki, J. & Hamari, S. 2007. Kevitsan kaivoshankkeen Natura-arviointi. Lapin vesitutkimus Oy, helmikuu 2007. <http://www.environment.fi/download.asp?contentid=64736&lan=fi>. Luettu 12.3.2010.
- Juslén, J. 1995. Sosiaalisten vaikutusten arviointi (SVA) - monipuolisempaan suunnitteluun. Stakes Raportteja 180.
- Kauppinen, T. & Tähtinen, V. 2003. Ihmisiin kohdistuvien vaikutusten arviointi -käsikirja. Stakes, Aiheita 8/2003. <http://info.stakes.fi/NR/rdonlyres/911022A6-5F87-4FA2-A21B-6DFD56A58AA3/0/Aiheita82003.pdf>. Luettu 12.3.2010.
- Koljonen, T., Gustavsson, N., Noras, P. & Tanskanen, H. 1992. Alkuainekuvaukset ja geokemialliset kartat. Julk: Koljonen, T. (toim.). Suomen geokemian atlas, osa: moreeni. Geologian tutkimuskeskus, Espoo. s. 143-217.
- KT ry 2006. Sullivanin kaivosonnettomuus. Turvallisuushälytys. Kaivannaisteollisuus ry.
- Kuusisto, E. 1991. Metall- ja rikkimalmikaivosten ja -louhosten jätealaiden ja jätetasojen vaikutusta ympäristöön tutkivaan hankkeeseen liittyvä esiselvitys. Geologian tutkimuskeskus. Arkistoraportti S/42/0000/1/1991. 88 s.
- Kuhmo Metals Oy 2008. Suomussalmen nikkeliprojektit. Ympäristövaikutusten arviointiselustus 15.12.2008.
- Lapin ympäristökeskus 2007. Kevitsan kaivoshankkeen Natura-arviointi, helmikuu 2007. Luonnonsuojelulain 65 §:n mukainen lausunto Kevitsan kaivoshankkeen Natura-arvioinnista. Lapin ympäristökeskus, lausunto 18.6.2007, LAP-2004-R-12-531. <http://www.environment.fi/download.asp?contentid=70206&lan=fi>. Luettu 12.3.2010.
- Lapin ympäristökeskus 2009. Soklin kaivoshankkeen Natura-arviointi, päivätty 26.6.2009. Luonnonsuojelulain 65 §:n mukainen lausunto Soklin kaivoshankkeen Natura -arvioinnista. Lapin ympäristökeskus, lausunto 21.8.2009. LAP-2008R-1-531. <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=107610&lan=fi>. Luettu 12.3.2010.
- Lappalainen, P. 2009. Maanlaiset louhintamenetelmät. Julk: Hakapää, A. & Lappalainen, P. (toim.). Kaivos- ja louhintatekniikka. Kaivannaisteollisuusyhdistys ry, opetushallitus. Vammalan kirjapaino Oy. S. 99-122. ISBN 978-952-13-3488-7.
- Laurila, J. & Hakala, I. 2010. Paras käyttökelpoinen tekniikka (BAT) – Ympäristöasioiden hallinta kiviaineshuollossa. Suomen ympäristökeskus, Ympäristönsuojelu. Suomen ympäristö 25 / 2010. 87 s. ISBN 978-952-11-3809-6.
- Leskelä, A. 1992. Maapatojen kunnan arviointi. Imatran voima Oy. Tutkimusraportti IVO-A-06/92. Helsinki.
- Leskelä, A. 2005. Maapatojen suunnittelun ja rakentamisen perusteet, Patoturvallisuuden täydennyskoulutusohjelma 2004-2005, luentomateriaali 14.6.2005 pidetty luento.
- Leskelä, A. 2009. Maapatojen suunnittelu. Lähtökohdat, käyttökohteet, maapatotyypit. Savonia-ammattikorkeakoulu, Kaivannaisteollisuuden maapatojen sekä läjitysalueiden rakenteet ja turvallisuusnäkökohdat -koulutus, luentokalvot. <http://portal.savonia.fi/amk/hankkeet/patoturvallisuus>
- Ljungberg, J., Lindvall, M., Holstrom, H. & Öhländer, B. 1997. Geochemical field study of flooded mine tailings in Stekenjokk, northern Sweden. Proceedings of 4th International Conference on Acid Rock drainage. Vancouver, B. C., Canada, 31 May – 6 June 1997: 1401-1417.
- Lottermoser, B. G. 2007. Mine wastes. Characterization, Treatment, Environmental Impacts. Second Edition. Springer, Berlin. 304 s. ISBN-10 3-540-48629-1.

- Lukkarinen, T. 1987. Mineraalitekniikka. Osa 2: Mineraalien rikastus. Helsinki: Insinööritieto, 1987. 442 s. ISBN: 951-795-147-7.
- Luodes, H., Kauppila, P. M., Karlsson, T., Nikkarinen, M., Aatos, S., Tornivaara, A., Wahlström, M. & Kaartinen, T. 2011. Kaivannaisjätteen luokittelu pysyväksi. Louhinnassa muodostuvat sivukivet. Suomen ympäristö 21/2011, Ympäristönsuojelu. 35 s. Ympäristöministeriö. URN:ISBN:978-952-11-3919-2. ISBN 978-952-11-3919-2 (PDF).
- Maijala, T. 2010. Patoturvallisuusopas. Luonnos 24.11.2010. Hämeen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen julkaisuja 4/2010. 99 s. <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=123380&lan=fi>
- Mann, A. W., Birrell, R. D., Mann, A. T., Humphreys, D. B. & Perdrix, J. L. 1998. Application of the mobile metal ion technique to routine geochemical exploration. *Journal of Geochemical Exploration* 61 (1-3): 87-102.
- Mattila, K., Zaitsev, G. & Langwaldt, J. 2007. Biological removal of nutrients from mine waters. Final report -loppuraportti. Finnish Forest Research Institute. Kaira-hanke. S. 99. ISBN 978-951-40-2060-5 (PDF). <http://www.metla.fi/hanke/7207/index-en.htm>.
- MEND 1995. Review of in-pit disposal practices for the prevention of acid drainage – case studies. Environmental Neutral Drainage (MEND) Programme. Energy, Mines and Resources of Canada, CANMET. Mend Project Report 2.36.1.
- Meissner, K., Aroviita, J., Hellsten, S., Järvinen, M., Karjalainen, S. M., Kuoppala, M., Mykrä, H. & Vuori, K.-M. 2010. Jokien ja järvien biologinen seuranta – näytteenotosta tiedon tallentamiseen. <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=122681&lan=fi>.
- Miller, S., Rusdinar, Y., Smart, R., Andrina, J. & Richards, D. 2006. Design and Construction of Limestone Blended Waste Rock Dumps – Lessons Learned from a 10-Year Study at Grasberg. Julk: R. I. Barnhisel (Ed.). *Proceedings of 7th International Conference on Acid Rock Drainage (ICARD)*, March 26-30, St. Louis, MO. American Society of Mining and Reclamation. Lexington, KY.
- MMSD (Mining, Minerals and Sustainable Development) 2002. Breaking New Ground. The Report of the Mining, Minerals and Sustainable Development Project. Earthscan Publications Ltd. London. [http://www.iied.org/mmsd/final report/index.html](http://www.iied.org/mmsd/final%20report/index.html)
- Mondo Minerals Oy 2008. Sotkamon kaivoksen ja tehtaan tarkkailuohjelma. 30.5.2008. Pöyry 9M608033.
- Murtovaara S. 2007. GTK:n maastotoiminnan käsikirja E 479/013/2007.
- Mustonen, R., Ikäheimonen, T., Kurtio, P., Vesterbacka, P., Nikkarinen, M., Tenhola, M. & Äikäs, O. 2007. Uraanimalmien koelouhinnan ja rikastuksen ympäristövaikutukset (URAKKA). Säteilyturvakeskuksen ja Geologian tutkimuskeskuksen projektiryhmän loppuraportti ympäristöministeriölle. 24.1.2007. <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=70241>. Luettu 27.10.2010.
- Mäkelä, A., Antikainen, S., Mäkinen, I., Kivinen, J. & Leppänen, T. 1992. Vesitutkimusten näytteenotto-menettelmät. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja, sarja B 10. 86 s.
- Nelimarkka, K. & Kauppinen, T. 2007. Ihmisiin kohdistuvien vaikutusten arvioiminen. Stakes. Oppaita 68.
- Niinivaara, I. 2009. Esiselvitys: kaivosteollisuuden BAT. Suomen ympäristökeskus, julkaisematon raportti. 49 s.
- Nikkarinen, M. 2004. Tulikivi Oyj, Juuka. Selvitys Vaaralammen vuolukiviesiintymän louhinnan vaikutuksista suojeltavan kasvilajin esiintymisalueisiin. Natura-arviointi. Geologian tutkimuskeskus, julkaisematon tutkimusraportti. 14 s.
- Nikkarinen, M., Kollanus, V., Ahtoniemi, P., Kauppila, T., Holma, A., Räisänen, M. L., Makkonen, S. & Tuomisto, J. T. (toim.). 2008. Metallien yhdenmety kohdekohtainen riskinarviointi. Abstract: Integrated site-specific risk assessment of metals. Kuopion yliopiston ympäristötieteen laitoksen monistesarja 3/2008. Kuopion yliopisto, Kuopio. 401 s. http://fi.opasnet.org/fi_wiki/images/c/c7/Finmerac-raportti.pdf
- Nordstrom, D. K. & Alpers, C. N. 1999. Geochemistry of acid mine waters. Julk: G. S. Plumlee & M. J. Logsdon (Eds). *the Environmental Geochemistry of Mineral Deposits. Part A, Processes, Techniques, and Health Issues. Reviews in Economic Geology, Volume 6A*: 133-160.
- Nordtest 2002. Nordtest method: NT ACOU 112. Acoustics: Prominence of impulsive sounds and for adjustment of L_{Aeq} . S. 5. <http://www.nordicinnovation.net/nordtestfiler/acou112.pdf>.
- OECD 1999. Environmental activities in uranium mining and milling. A joint report by the OECD Nuclear Energy Agency and the International Atomic Energy Agency. OECD Publications. 173 s.
- Paalumäki, A. 2009. Avolouhintaa. Julk: Hakapää, A. & Lappalainen, P. (toim.). Kaivos- ja louhintatekniikka. Kaivannaisteollisuusyhdistys ry, opetushallitus. Vammalan kirjapaino Oy. s. 91-98. ISBN 978-952-13-3488-7.
- Papunen, H. 1986. Suomen metalliset malmiesiintymät. Julk: H. Papunen, I. Haapala & P. Rouhunkoski (toim.). Suomen malmigeologia. Metalliset malmiesiintymät. Suomen geologinen seura ry. Mäntän kirjapaino, Mänttä. s. 133-241.
- Parviainen, A. 2009. Tailings mineralogy and geochemistry at the abandoned Haveri Au-Cu Mine, SW Finland. *Mine Water and the Environment* 28: 291-304.
- PDAC 2011. E3Plus – A Framework for responsible exploration. Website: <http://www.pdac.ca/e3plus/index.aspx>
- PIRAMID Consortium 2003. Engineering guidelines for the passive remediation of acidic and/or metaliferous mine drainage and similar wastewaters. European Commission 5th Framework RTD Project no. EVK1-CT-1999-000021 "Passive *in-situ* remediation of acidic mine / industrial drainage" (PIRAMID). University of Newcastle Upon Tyne. Newcastle Upon Tyne, UK. 166 s.

- Plumlee, G. S. 1999. The Environmental Geology of Mineral Deposits. Julk: G. S. Plumlee & M. J. Logsdon (Eds). The Environmental Geochemistry of Mineral Deposits. Part A: Processes, Techniques, and Health Issues. Reviews in Economic Geology, Volume 6A:71-116.
- Pohjois-Suomen ympäristölupavirasto 2007. Talvivaaran kaivoksen ympäristö- ja vesitalouslupa, Sotkamo ja Kajaani. Lupapäätös Nro 33/07/1, Dnro PSY-2006-Y-47. 29.3.2007.
- Price W. A. 1997. Draft Guidelines and Recommended Methods for the Prediction of Metal Leaching and Acid Rock Drainage at Minesites in British Columbia. Reclamation Section, Energy and Minerals Division; British Columbia Ministry of Employment and Investment. 159 s. <http://www.mndm.gov.on.ca/mines/mg/leg/BC%201997%20Draft%20Guideline.pdf>. Luettu 25.10.2008.
- Puustinen, K. 2003. Suomen kaivosteollisuus ja mineraalisten raaka-aineiden tuotanto vuosina 1530-2001, historiallinen katsaus erityisesti tuotantolukujen valossa. Geologian tutkimuskeskus, arkistoreportti, M 10.1/2003/3. 578 s.
- Rantamäki, M., Jääskeläinen, R. & Tammirinne, M. 1979. Geotekniikka. Otatieto 464. Oy Yliopistokustannus/Otatieto. Helsinki. 307 s.
- Rasilainen, K. 2008. Rock Geochemical Database of Finland, version 1.1. Geologian tutkimuskeskus, Espoo. <http://www.gtk.fi/geotieto/aineistot/uusimmat/metadata/rgdb.html>
- Raunio, A., Schulman, A., Kontula, T. (toim.) 2008. Suomen luontotyyppien uhanalaisuus. Suomen ympäristökeskus. Osa 1: Tulokset ja arvioinnin perusteet. S. 264. Osa 2: Luontotyyppien kuvaukset. s. 572. Suomen ympäristö 8.
- Reinikainen, J. 2007. Maaperän kynnys- ja ohjearvojen määrittämisperusteet. Suomen ympäristökeskus. Suomen ympäristö 23. 90 s.
- Reinikainen, K. & Karjalainen, T. P. 2009. Sosiaalisesti kestävä suunnittelu ja sen arviointi – esimerkkinä Soklin kaivoshanke. Julk: H.-L. Hentilä & E. Ihatsu (toim.). KaSuKat – Kasvun ja supistumisen ohjauskeinot ja elinympäristön laatu – tapauksena pohjoisen Suomen kaivoskunnat. Loppuraportti. Oulun yliopiston arkkitehtuurin osaston julkaisuja C 124. Oulu. S. 36-43. Elektroninen versio: ISBN 978-951-42-9134-0. ISSN 0358-030X. (<http://herkules.oulu.fi/isbn9789514291340/>). Painettu versio: ISBN 978-951-42-9137-1. ISSN 0358-030X.
- Räisänen, M. L. 2003. Rehabilitation options for tailings impoundments – case studies of “wet” cover and wetland treatment. Julk: C. Hebestreit, J. Kudelko & J. Kulczycka (Eds). Mine Waste management Best Available Techniques. CBPM Cuprum, Wrocław and MEERI PAS, Kraków. p. 141-150.
- Räisänen, M. L. 2004. Luikonlahden vanhan kuparikaivoksen ympäristön nykytila ja suositukset sivukivien läjitysalueiden kunnostukseen. GTK, Kuopion yksikkö. Julkaisematon raportti, 17 s.
- Räisänen, M. L. 2005. A sustainable use of magnesite tailings as a cover for acid generating wastes – A case study of an old copper mine. Julk. Securing the future – International Conference on Mining and the Environment Metals and Energy Recovery, June 27 – July 1 2005 Skellefteå. Proceedings, vol. 2: 826-636.
- Räisänen, M. L. 2009. Capability of natural and constructed wetlands to mitigate acidic leakage from closed mine waste facilities – cases in Eastern Finland. In: Securing the future – Mining, metals and society in a sustainable society and 8th ICARD (International Conference on acid rock drainage) in Skellefteå, Sweden June 22 – June 26 2009. <http://www.proceedings-stfandicard-2009.com>
- Räisänen, M. L. & Juntunen, P. 2004. Decommissioning of the old pyritic tailings facility previously used in talc operation, eastern Finland. Julk: A. P. Jarvis, B. A. Dudgeon & P. L. Younger (Eds). Proceedings of the Symposium Mine Water 2004 – Process, Policy and Progress vol. 1: 91-99.
- Räisänen, M. L. & Korhonen, K. 2004. Vuonoksen talkkitekseen rikastushiekka-altaan ja rikastamon ympäristön pohja- ja pintavesien kemiallinen nykytila ja arvio havaintoputkien käyttökelpoisuudesta ja määrästä pohjaveden tilan seurantaan. GTK, Kuopion yksikkö. Julkaisematon raportti, 28 s.
- Räisänen, M. L., Lestinen, P. & Kuivasaari, T. 2001. The retention of metals and sulphur in a natural wetland – preliminary results from the old Otravaara pyrite mine, eastern Finland. Securing the Future – International Conference on Mining and the Environment, June 25 – July 1 2001, Skellefteå, Sweden. Proceedings, vol. 2: 662-670.
- Räisänen, M. L., Niemelä, K. & Saarelainen, J. 2003. Rautasulfidipitoisen rikastushiekan läjitysalueen rakenne ja ympäristön pintavesien nykytila. Geologian tutkimuskeskus, arkistoreportti S/44/0000/1/2003. 27 s.
- Saarela, J. 1990. Kaivosjätteiden geoteknisistä ominaisuuksista ja ympäristövaikutuksista. Helsinki: Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja, sarja A 64. 145 s.
- Salminen, R. (ed.) 1995. Alueellinen geokemiallinen kartointi Suomessa 1982-1994. Summary: Regional geochemical mapping in Finland in 1982-1994. Geologian tutkimuskeskus. Tutkimusraportti 130. Geologian tutkimuskeskus, Espoo. 47 s. 24 Appendix Maps.
- Salminen, R., Heikkinen, P., Nikkarinen, M., Parkkinen, J., Sipilä, P., Suomela, P. & Wennerström, M. 2000. Ympäristövaikutusten arviointimenettelyn opas kaivoshankkeisiin. Kauppa- ja teollisuusministeriön tutkimuksia ja raportteja 20/1999. 82 s.
- SFS-ISO 1996-1. Akustiikka. Ympäristömelun kuvaaminen ja mittaaminen. Perusteet ja menetelmät.
- SFS-ISO 1996-2. Akustiikka. Ympäristömelun kuvaaminen ja mittaaminen. Maankäyttöä koskevien mittaustietojen hankinta.
- SFS-ISO 1996-3. Akustiikka. Ympäristömelun kuvaaminen ja mittaaminen. Soveltaminen melurajoihin.
- Siivola, J. 1986. Malmimineralogia. Julk. Papunen, H., Haapala, I., & Rouhunkoski, P. (toim.): Suomen malmigeologia. Metalliset malmiesiintymät. Suomen Geologinen Seura ry. Mäntän kirjapaino Oy. s. 13-32.

- Sivonen, M & Frilander, R. 2001. Patoturvallisuuden toteutuminen Suomen jäte- ja kaivospadoilla. Suomen ympäristökeskus. Suomen ympäristö 462, ympäristönsuojelu. Helsinki. 123 s.
- Slunga, E. 2004. Patojen rakentaminen ja tekniset ratkaisut erilaisilla pohjilla. Patoturvallisuuden täydennyskoulutusohjelma, luentomateriaali 19.-20.8.2004.
- SMEGAC 2010. Mineral Exploration Guidelines For Saskatchewan. The Saskatchewan Mineral Exploration and Government Advisory Committee (SMEGAC). Website: http://www.saskmining.ca/uploads/news_files/16/mineral-exploration-guidelines-2010.pdf
- ST 12.1. 2011. Säteilyturvallisuus luonnonsäteilylle altistavassa toiminnassa. Säteilyturvakeskus. <http://www.edilex.fi/stuklex/fi/lainsaadanto/saannosto/ST12-1?toc=1>
- Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriö 1999. Ympäristövaikutusten arviointi. Ihmisiin kohdistuvat terveydelliset ja sosiaaliset vaikutukset. Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriön oppaita 1999:1. 51 s. http://www.stm.fi/c/document_library/get_file?folderId=122630&name=DLFE-8445.pdf. Luettu 12.3.2010.
- Suomen mineraalistrategia 2010. http://www.mineraalistrategia.fi/etusivu/fi_FI/etusivu/_files/84308780946884010/default/SuomenMineraalistrategia.pdf
- Suomen ympäristökeskus 2010a. Ympäristölupa-arkisto. Valtion ympäristöhallinto. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=1493&lan=FI>. Päivitetty 26.8.2010.
- Suomen ympäristökeskus 2010b. YVA-hankelista. Valtion ympäristöhallinto. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=100466&lan=fi>. Päivitetty 8.1.2010. Luettu 12.3.2010.
- Söderman, T. 2003. Luontoselvitykset ja luontovaikutusten arviointi – kaavoituksessa, YVA-menettelyssä ja Natura-arvioinnissa. Suomen ympäristökeskus. Ympäristöopas 109. 196 s.
- TEM 2010. Suomen mineraalistrategia. Kirjapaino Keili Oy, Vantaa. 20 s. <http://www.mineraalistrategia.fi/> Luettu 21.01.2010.
- Tremblay, G. A. & Hogan, C. M. (Eds.). 2000. Treatment, Mine Environmental Neutral Drainage (MEND) Manual, vol. 5. MEND 5.4.2e. Energy, Mines, and Resources Canada.
- Tremblay, G. A. & Hogan, C. M. 2001. Prevention and control. MEND Manual Volume 4. MEND 5.4.2d. 352 p.
- Uudenmaan ELY & Ympäristöministeriö 2011. Meluntorjunnan tietojärjestelmä. Valtion ympäristöhallinto. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=269377&lan=fi&clan=fi>. Luettu 15.5.2011.
- Verta, M., Kauppila, T., Londesborough, S., Mannio, J., Porvari, P., Rask, M., Vuori, K.-M. & Vuorinen, P. J. 2010. Metallien taustapitoisuudet ja haitallisten aineiden seuranta Suomen pintavesissä – ehdotus laatudirektiivin toimeenpanosta. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 12/2010. 45 s. ISBN 978-952-11-3779-2 (pdf), ISSN 1796-1726 (verkkoj.).
- Vestola, E. & Mroueh, U.-M. 2008. Sulfaatinpelkistyksen hyödyntäminen happamien kaivosvesien käsittelyssä. Opas louhoskäsittelyn hallintaa. VTT tiedotteita 2422. 58 s.
- Vuolio, R. 1991. Räjätystyöt 1991. Suomen maarakentajien keskusliitto, Helsinki. 318 s.
- Walton-Day, K. 2003. Passive and active treatment of mine drainage. Julk: J. L. Jambor, D. W. Blowes & A. I. M. Ritchie (Eds). Environmental aspects of mine wastes. Mineralogical Association of Canada, Short Course Series vol. 31: 335-359.
- Ylitulkila, S., Parviainen, J., Rantala, L., Tuomela, P., Kilpeläinen, E., Heikkinen, M.-L. & Sauvola, T. 2009. YARA Suomi Oy. Soklin kaivosalue - Luonnonsuojelulain 65 §:n mukainen Natura-arviointi. Pöyry Environment Oy, Raportti 9M607220.COYL17, 26.6.2009. 79 s.
- Ympäristöministeriö 1995. Ympäristömelun mittaaminen. Ympäristöministeriön ympäristönsuojeluosaston ohje 1/1995. 82 s. <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=120513&lan=fi>.

Liite I. Suomessa toimivat metallimalmikaivokset

1

Johdanto

Vuoden 2010 alussa Suomessa oli toiminnassa yhteensä 7 metallimalmikaivosta, joista neljä oli kultakaivosta (Kittilä, Jokisivu, Orivesi, Pahtavaara) ja loput tuottivat perusmetalleja (Kemin kromikaivos, Talvivaaran monimetallikaivos, Pyhäsalmen kupari-sinkki-pyriittikaivos). Hituran nikkeli-kuparikaivos käynnistyi uudelleen vuoden 2010 lopulla. Nikkeliä tuotetaan myös Lahnaslammen talkkikaivokselta tal-kin tuotannon sivuvirtana. Toiminnassa olevien kaivosten ohella suunnitteilla on useita uusia metallimalmikaivoksia eri puolelle Suomea, kuten esimerkiksi Pampalon kultakaivos (käynnistyi keväällä 2011), Laivan kultakaivos, Kevitsan monimetallikaivos ja Kylylahden kupari-kobolttikaivos sekä Längän litiumkaivos.

Alla olevissa kappaleissa on esitetty kuvaukset v. 2010 toiminnassa olleiden metallimalmikaivosten tuotannosta sisältäen kuvaukset louhinnasta ja käytettävistä rikastusmenetelmistä sekä malmivarannoista. Kappaleen lopussa on kuvattu lyhyesti myös toimintaansa v. 2010 aloitelluita kaivosprojekteja.

2

Kemin Cr-kaivos

Outokumpu Oyj:n Kemin kromikaivos (Kuva 1) sijaitsee Keminmaan kunnassa noin 10 km etäisyydellä Kemin kaupungista. Se on ainoa kromikaivos EU:n alueella. Kemin kromimalmiesiintymä löytyi vuonna 1959 ja Outokumpu Oy teki päätöksen kromiesiintymän hyödyntämisestä vuonna 1964. Kaivoksen yhteyteen rakennettiin esiintymän hyödyntämiseksi aluksi koerikastamo rikastusmenetelmien tutkimiseksi ja myöhemmin alueelle rakennettiin varsinainen rikastamo sekä Tornioon ferrokromitehdas. Ferrokromituotanto käynnistyi vuonna 1968 koerikastamolla tehdyistä rikasteista ja varsinainen rikastustoiminta alkoi Kemissä vuonna 1969.



Kuva 1. Kemin kromikaivos. (Kuva Outokumpu Oyj)

Malmin louhinta aloitettiin pengerlouhintana avolouhoksesta, josta kaivoksen pääasiallinen tuotanto tuli vuoden 2005 loppuun saakka. Avolouhoksesta on louhittu pengerlouhintana 12 metrin tasoväleillä kaikkiaan 31 Mt malmia ja 132 Mt sivukiveä. Avolouhoksen syvyys on 185 metriä.

Maanalaisen kaivoksen rakentaminen alkoi vuonna 1999 ja kaivos käynnistyi vuonna 2003. Vuoden 2006 alusta alkaen kaikki tuotanto on tullut maanalaisesta kaivoksesta. Maanalaisen kaivoksen alin tuotantotaso on 475 metrin syvyydellä ja louhoskoko on 25 000 tonnia. Louhintamuotona on kaksivaiheinen pengertäyttölouhinta 25 m tasovälillä. Louhostilat täytetään louhinnan jälkeen avolouhinnan aikana louhitulla sivukivellä sekä palarikastamolta tulevalla palakivellä.

Louhittu malmi ajetaan kaatonousuihin ja murskataan isolla karamurskaimella alle 250 mm:n kappalekokoon. Raudanerotuksen jälkeen murskattu malmi siirretään kahteen kallioon louhittuun siiloon. Siiloista malmi nostetaan kappanostolla maanpinnalla sijaitseviin esimurskesiiloihin, joista malmi siirretään murskaamolle. Murskaamalla malmi murskataan alle 100 mm:n kappalekokoon ja seulotaan.

Malmin rikastus tehdään kaksivaiheisena ominaispainoeroihin perustuvilla rikastusmenetelmillä. Vaiheina ovat palarikastus ja hienorikastus. Murskatun malmin karkeampi fraktio (10–100 mm) rikastetaan murskaamon yhteydessä toimivalla palarikastamolla ja hienofraktio (< 10 mm) toimitetaan jauhettavaksi hienorikastamolle.

Palarikastamolla murskattu malmi rikastetaan kaksivaiheisessa raskasväliainepiirissä, jossa välinaineena käytetään piirautaa/vesiseosta. Ensimmäisen vaiheen lietetiheys on 3,2 kg/dm³ ja toisen 3,6 kg/dm³. Ensimmäisessä vaiheessa malmista erotetaan kevyttuotteena saatava palakivi, joka palautetaan kaivostäyttöön. Toisessa vaiheessa malmista erotetaan raskastuotteena palarikaste, joka varastoidaan varastohalleihin. Jäännösmateriaali (kevyt-/välituote) murskataan edelleen alle 25 mm:n kappalekokoon ja siirretään yhdessä alle 10 mm:n hienofraktion kanssa hienorikastamolle. Hienorikastamolla malmi jauhetaan tanko-/kuulajauhatuksella alle 0,7 mm:n raekokoon.

Jauhatuksen tuote luokitellaan sykloneilla kahteen fraktioon, joista alle 80 mikronin materiaali siirretään liejupiiriin, ja 80–700 mikronin fraktio rikastetaan ominaispainoeroihin perustuvilla Reichert-kartioerottimilla ja spiraaleilla. Valmis hienorikaste kuivataan Topfeed-rumpusuotimella alle 4 %:n kosteuteen ja varastoidaan homogenisoiden varastohalleihin, joista rikasteet siirretään kuorma-autoilla Tornion ferrokromitehtaalille. Prosessissa muodostunut rikastushiekkaliete pumpataan rikastushiekka-altaalle, jossa kiintoaines laskeutetaan ja vesi johdetaan selkeytysaltaisiin. Selkeytysaltaissa kirkastunut vesi pumpataan takaisin rikastamolle. Rikastamon vesikierto on täysin suljettu.

Malmia louhitaan noin 1,3 Mt vuodessa ja sen keskimääräinen Cr₂O₃-pitoisuus on 26,5 %. Vuosittain tuotetaan noin 200 000 tonnia palarikastetta, jonka Cr₂O₃-pitoisuus on 36 %, ja 400 000 tonnia hienorikastetta, jossa Cr₂O₃-pitoisuus on 45 %. Kemian kaivoksen tämän hetkiset (v. 2010) malmivarat ovat noin 37 Mt ja mineraalivarannot 87 Mt. Seismisten tutkimusten mukaan malmiesiintymä jatkuu useiden kilometrien syvyyteen, joten mineraalivarannot voivat osoittautua paljon oletettua suuremmiksi.

Kaivos työllistää 160 henkilöä sekä lisäksi noin 100 urakoitsijoiden palveluksessa olevaa henkilöä. Kemian kaivos on ensimmäinen vaihe Outokumpu Tornio Worksin integroidussa tuotantoketjussa, jonka kapasiteetti on noin 1,2 Mt ruostumatonta terästä vuodessa.

3

Kittilän Au-kaivos

Agnico-Eagle Mines Ltd:n omistama Kittilän kultakaivos (Kuva 2) sijaitsee noin 35 km Kittilän kuntakeskuksesta koilliseen. Suurikuusikon alueella tehtiin ensimmäinen kulturalöytö vuonna 1986, jonka jälkeen alueella jatkettiin tarkempia tutkimuksia vuo-



Kuva 2. Kittilän kultakaivos. (Kuva Agnico-Eagle Mines Ltd)

sina 1987–1997. Kittilän kultakaivokselle myönnettiin ympäristö- ja vesitalouslupa vuonna 2002 ja kaivoksen rakentaminen käynnistyi vuonna 2006. Malmin louhinta aloitettiin Suurikuusikon avolouhoksesta keväällä 2008 ja kultarikasteen tuotanto käynnistyi rikastamolla saman vuoden syksyllä. Ensimmäinen kultaharkko valettiin tammikuussa 2009.

Malmia louhitaan Suurikuusikon avolouhoksesta 7,5 metrin penkereinä yhdessä sivukiven kanssa paikalleen räjäyttämällä, ja malmi ja sivukivi erotellaan lastausvaiheessa. Avolouhoksesta tulee lopulta noin 160 m syvä. Malmia syötetään rikastamolle 3 000 tonnia päivässä. Avolouhinnan ohessa valmistellaan maanalaista kaivosta tuotantovalmiuteen. Maanalaisen tuotannon on tarkoitus alkaa vuonna 2010. Maan alla louhintamenetelmänä on pengerialouhinta. Louhokset ovat 25–40 metriä korkeita ja keskimääräinen louhoskoko on 10 000 tonnia malmia. Lastauksen jälkeen tyhjät louhokset täytetään kovettuvalla täytteellä, jolloin viereiset malmit voidaan louhia tehokkaasti ja turvallisesti.

Malmi kuljetetaan kaivokselta rikastamolle ja murskataan leukamurskaimella. Murskattu malmi siirretään hihnakuljettimella välisiiloon, josta malmi kuljetetaan edelleen jauhattavaksi. Malmi jauhetaan semiautogeenisessä jauhatuksessa ja hienoksi jauhattu malmi jatkaa matkaansa vaahdotuspiiriin, jossa vaahdotus tapahtuu kahdessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa vaahdotetaan orgaaninen hiili pois rikastettavasta lietteestä. Toisessa vaiheessa kultapitoiset sulfidimineraalit otetaan talteen. Vaahdotuksen jälkeen liete hapetetaan autoklaavissa 190 °C asteen lämpötilassa ja noin 1 900 kPa paineessa. Tämän jälkeen hapetettu rikaste käsitellään kullan liuotuspiirissä. Rikaste viipyy 24 tunnin ajan kuudessa liuotustankissa (CIL-tankissa), jossa kulta erotetaan. Liuennut kulta otetaan talteen aktiivihiiilen avulla. Kultaa sisältävä aktiivihiihi stripataan eli kulta uutetaan takaisin nesteeseen. Nesteestä kulta saostetaan elektrolyysillä. Saostunut kulta sulatetaan ja valetaan kultaharkkoiksi. Tämän jälkeen harkot lähetetään ulkopuoliseen yritykseen jatkojalostettavaksi, jonka jälkeen tuotteen kultapitoisuus on 99,99 %.

Malmin rikastusprosessissa syntyvä rikastushiekka läjitetään vesitiiviisiin rikastushiekka-altaisiin. Rikastushiekkaa syntyy käytännössä yhtä paljon kuin malmia toimitetaan rikastamolle, koska malmista erotetaan ainoastaan kulta. Malmin louhinnan yhteydessä louhittava sivukivi läjitetään kaivosalueella sijaitseville sivukiven läjitysalueille.

Suurikuusikon kultaesiintymä on Keski-Lapin vihreäkivivyöhykkeen keskiosassa ja esiintymä on suurin tunnettu kultaesiintymä Pohjois-Euroopassa. Esiintymän tunnetut malmivarat ovat 21,4 Mt ja kultaesiintymän keskipitoisuus on 4,7 g/t. Totaalikullasta 75 % on sitoutunut arseenikiisun ja 23 % arseenipitoisen rikkikiisun hilaan atomitasolla. Vain 2 % totaalikullasta on vapaata kultaa. Kaivoksen suunniteltu vuosittainen kullan tuotanto on 5 000 kg kultaa.

4

Pyhäsalmen Zn-Cu-S-kaivos

Pyhäsalmi Mine Oy:n sinkki-kupari-rikkikaivos (Kuva 3) sijaitsee Pyhäjärvellä. Malmi löydettiin vuonna 1958 ja vuoden 1959 keväällä Outokumpu Oy teki päätöksen kaivoksen avaamisesta. Kaivos aloitti toimintansa vuonna 1962, ja siirtyi vuonna 2002 nykyisen omistajansa, Inmet Mining Corporation:in, omistukseen.

Malmia louhittiin aluksi avolouhoksesta. Maanalainen louhinta käynnistyi avolouhinnan rinnalla vuonna 1967, ja kaivos siirtyi kokonaan maanalaiseen louhintaan vuonna 1975. Tällä hetkellä louhinta tapahtuu kokonaisuudessaan tason +1050 alapuolelta ja syvin tuotantotaso on +1410. Malmi louhitaan välitaso- ja pengerlouhinnalla. Louhosten korkeus on 25–50 m ja leveys 15–25 m. Tunnelit lujitetaan pultituksella ja ruiskubetonoinnilla, ja louhokset vaijeripultituksella. Tyhjät louhokset täytetään sivukivellä, ja sivukivitäyte kovetetaan rikastushiekan, kuonan, lentotuhkan ja betonin sekoituksella.

Irrotettu malmi murskataan leukamurskaimella yksivaiheisesti maanalaisessa murskaamossa, josta malmi nostetaan kaivostornin kautta maan pinnalle kallio-



Kuva 3. Pyhäsalmen kaivos. (Kuva Pyhäsalmi Mine Oy)

siiloon. Malmi seulotaan kaivostornissa kolmeen fraktioon, ja kuljetetaan edelleen kalliosiihosta hihnakuuljettimilla rikastamon siiloihin. Rikastamolla malmi jauhetaan ns. semiautogeeni-jauhatuksella, jossa hienoa ja karkeaa malmia jauhetaan yhdessä. Malmista rikastetaan vaahdottamalla kuparirikaste, sinkkirikaste ja pyriittirikaste kolmessa vaiheessa. Rikasteista poistetaan ylimääräinen vesi sakeuttamalla ja suodattamalla, minkä jälkeen rikasteet varastoidaan kaivosalueelle kuljetusta varten. Kupari- ja sinkkirikasteet kuljetetaan rautateitse kotimaisille sulatoille jatkojalostukseen ja pyriittirikaste myydään sekä kotimaan että ulkomaan markkinoille.

Rikastuksessa muodostuvasta rikastushiekasta erotetaan karkein aines kaivokseen louhostäytteeksi ja hienoaines pumpataan lietteenä rikastushiekka-altaaseen. Rikastushiekka-altaassa prosessivesi neutraloidaan ja siitä laskeutetaan kiintoaines. Selkiytynyt vesi johdetaan Pyhäjärven vesistöön.

Malmia louhitaan Pyhäsalmeella noin 1,4 Mt vuodessa, ja vuosittain tuotetaan 13 400 t kuparia, 31 300 t sinkkiä ja 420 000 t rikkikiisua (v. 2009). Malmiesiintymä on massiivinen Zn-Cu-rikkikiisuesiintymä, jossa on sulfidimineraaleja noin 75 %. Joulukuussa 2009 kaivoksen malmivarat olivat 11,8 Mt sisältäen 1,1 % Cu, 2,2 % Zn, 41 % S, 0,4 g/t Au ja 14 g/t Ag. Nykyvarannoilla kaivostoiminnan on arvioitu jatkuvan Pyhäsalmeella vuoteen 2018 asti. Kaivos työllistää yhteensä 218 henkeä ja 53 urakoitsijaa.

5

Talvivaaran monimetallikaivos

Talvivaara Sotkamo Oy:n kaivos sijaitsee noin 30 km Kajaanin keskustasta kaakkoon ja 25 km Sotkamon keskustasta lounaaseen. Kuusilammen ja Kolmisopen malmiesiintymät sekä laitosalue ovat kokonaisuudessaan Sotkamon kunnan alueella. Kaivospiirin läntinen osa sijoittuu Kajaanin kaupungin alueelle.

Malminetsintää on tehty Etelä-Sotkamon alueella eri yhtiöiden toimesta 1930-luvulta alkaen. Suomen Malmi Oy löysi ensimmäiset nikkelpitoiset näytteet Talvivaaran alueelta 1960-luvun alkupuolella ja GTK paikansi Kolmisopen esiintymän vuonna 1977 ja Kuusilammen esiintymän 1978. Outokumpu teki malmitutkimuksia vuosina 1989–1992 ja Talvivaara on jatkanut tutkimuksia vuodesta 2004 alkaen. Talvivaaran kaivokselle myönnettiin ympäristö- ja vesitalouslupa maaliskuussa 2007 ja huhtikuun alussa käynnistyi kaivoksen rakentaminen. Malmin louhinta aloitettiin Kuusilammen avolouhoksesta keväällä 2008, malmin kasausta primäärikasalle kesällä 2008 ja ensimmäinen saostus toteutettiin syksyllä 2008.

Malmin louhinta toteutetaan pengerialueella, jossa tasoväli on 15 metriä. Suunniteltu malminlouhinta on vuodesta 2011 alkaen 24 Mt/v ja sivukiveä louhitaan sama määrä. Avolouhoksen arvioitu leveys tulee olemaan 1 500 m, pituus 3 500 m ja syvyys 500 metriä.

Louhittu malmi kuljetetaan kiviautoilla karkeamurskaamolle, jossa malmi murskataan alle 250 mm:n kappalekokoon. Karkeamurskaamolta malmi siirretään Kuusilampi-kuljetinta pitkin malmin välivarastoon ja siitä edelleen hienomurskaamoihin ja seulomoon. Hienomurskauksen jälkeen malmiaines on raekooltaan alle 8 mm:ä. Sen jälkeen malmiainesta käsitellään agglomeroitiasemalla liuoksella hienoaineksen kiinnittämiseksi rakeiden pintaan ennen kasausta. Malmi kasataan primäärikentälle neljäksi 400 metriä leveäksi, 1 200 metriä pitkäksi ja noin 8 metriä korkeaksi kasaksi (Kuva 4).

Malmi rikastetaan bioliuotuksella. Jokaista primäärikasaa kastellaan liuoksella, jota kierrätetään kasan läpi. Metallien liukenemista tehostetaan kastelun ohella ilmastamalla kasaa pohjan kautta. Kun liuoksen metallipitoisuus on riittävän suuri, johdetaan osa liuoksesta metallien talteenottolaitokselle. Metallien talteenotossa kupari, sinkki ja nikkeli-koboltti saostetaan liuoksesta sulfideina pois. Jäännösluos puhdistetaan



Kuva 4. Talvivaaran kaivoksen tehdasalue ja malmin rikastuksen primäärilentä. (Kuva Talvivaara Sotkamo Oy)

ja palautetaan takaisin kasan kasteluun. Liuoksen puhdistuksen yhteydessä syntyvä kipsi- ja rautasakka johdetaan kipsisakka-altaaseen.

Primäärilentän kasoja kastellaan noin 1,5 vuotta, jonka jälkeen kasat puretaan ja liuotettu malmiaines siirretään kuljettimella sekundäärikasalle. Siellä suoritetaan malmin loppuliuotus, joka kestää noin 3,5 vuotta. Sekundäärikasalla on myös malmin loppusijoituspaikka. Sekundäärikasalle tulee olemaan 1 500 m leveä, 2 500 m pitkä ja noin 60–70 metriä korkea.

Talvivaaran kaivoksen malmiaines sisältää uraania hivenainepitoisuutena. Liuoksessa uraanin määrä on noin 25 mg/l. Talvivaara suunnittelee uraanin talteenottamista liuoksesta uuttomenetelmällä. Uraanin talteenottolaitos tulee toimimaan kiinteänä osana tuotantoprosessia. Uraani uutetaan pois prosessiliuoksesta sinkkisulfidi- ja nikkeli-kobolttisulfidisaostusvaiheiden välissä. Uuttoprosessilla saadaan talteen yli 90 % syöttöliuoksen sisältämästä uraanipitoisuudesta. Lopputuotteena on uraaniperoksidi, joka tuotetaan yellow-cake -asteelle. Uraaniperoksidin tuotantomäärän on arvioitu olevan noin 350–500 tonnia vuodessa.

6

Dragon Mining Oy:n kultakaivokset

Dragon Mining Oy (ent. Polar Mining Oy) louhii kultaa Jokisivun ja Oriveden kaivoksilta. Molemmat malmit kuljetetaan rikastettavaksi Dragon Mining Oy:n rikastamolle Sastamalaan.

6.1

Oriveden kultakaivos

Oriveden kultakaivos sijaitsee Oriveden kunnassa lähellä Tamperetta. Kultamineralisaatio löytyi alueelta vuonna 1982, ja Outokumpu Oy louhi kaivoksesta kultamalmin vuosien 1994–2003 aikana. Dragon Mining Oy:lle kaivos siirtyi vuonna 2003 ja

kultamalmin louhinta käynnistettiin Kutemajärven esiintymästä uudelleen vuonna 2007 aikaisemmin louhitun alueen ulkopuolelta löytyneestä Sarvisuon esiintymästä. Kutemajärven malmimuodostuma koostuu useista pystysuuntaisista malmipiipuista, joita on louhittu 720 metrin syvyyteen saakka. Osa malmipiipuista jatkuu yli 1000 metrin syvyyteen.

Malmi louhitaan maanalaisesta kaivoksesta pengerrilouhintamenetelmää soveltaen ja kaikki louhitut tilat täytetään kaivoksesta louhitulla sivukivellä. Kaivoksen tuotantomäärä on noin 200 000 t/v. Malmi kuljetetaan lohkareina rekka-autoilla murskattavaksi ja rikastettavaksi Sastamalan rikastamolle.

6.2

Jokisivun kultakaivos

Jokisivun kaivos sijaitsee Huittisten Jokisivulla, noin 8 km Huittisten keskustasta lounaaseen. Ensimmäiset viitteet malmiesiintymästä löydettiin vuonna 1964, ja useissa vaiheissa tehtyjen tutkimustöiden jälkeen malmin louhinta käynnistyi Polar Mining Oy:n toimesta Kujankallion avolouhoksessa vuonna 2009. Kaivoksen ympäristölupahakemus jätettiin vuonna 2003 ja lopullinen lupapäätös saatiin korkeimmasta hallinto-oikeudesta vuoden 2007 lopussa.

Kujankallion avolouhoksesta tullaan louhimaan noin 100 000 tonnia malmia, jolloin louhos on 45 metriä syvä, 400 m pitkä ja 100 m leveä. Malmi louhitaan 5 metrin penkereinä (Kuva 5). Louhittu malmi kuljetetaan lohkareina rekka-autoilla Sastamalan rikastamolle murskattavaksi ja rikastettavaksi. Avolouhoksen alapuolelle on suunniteltu maanalainen kaivos ja lisäksi alueelta tunnetaan Arpolan malmiesiintymä, johon on myöhemmin suunniteltu tehtäväksi pienempi avolouhos. Jokisivun kaivoksen ympäristölupa edellyttää, että Kujankallion ja Arpolan louhokset louhitaan eriaikaisesti.

Jokisivun kultaesiintymä koostuu kapeista gneissien ja vulkaniittien ympäröimistä kvartsijuonista. Esiintymän tunnetut malmivarat ovat 1,3 Mt sisältäen kultaa keskimäärin 6 g/t. Kulta esiintyy pääosin vapaana kultana kvartsijuonivyöhykkeissä, mutta osa on myös arseenikiisusulkeumina.



Kuva 5. Kujankallion avolouhos Jokisivulla. (Kuva Dragon Mining Oy)

6.3

Kultamalmien murskaus ja rikastus Sastamalan rikastamolla

Jokisivun ja Oriveden kultamalmit murskataan Sastamalan rikastamon murskaamossa kolmessa vaiheessa leuka-, kara- ja kartiomurskaimilla. Murskattu malmi seulotaan ja 20 mm:n murske siirretään hihnakuljettimilla välisiiloon, josta se syötetään rumpusyöttimillä jauhattavaksi. Jauhatus aloitetaan tankomyllyllä, jonka jälkeen Jokisivun malmista erotetaan sykloniluokituksella karkeampi fraktio erilleen ja hienoaines johdetaan suoraan vaahdotukseen. Karkeammasta fraktiosta erotetaan edelleen ominaispainoltaan raskaampi materiaali Reichertin kartiolla erilliseen painovoimapiiriin ja muu osa palautetaan kuulamylyjauhauksen kautta vaahdotukseen. Painovoimapiiri käsittää Reichertin kartion lisäksi spiraaliluokittimet ja tärypöydän. Vaahdotuksessa erotettu rikaste selkeytetään sakeuttimessa ja siitä poistetaan vettä painesuotimella. Rikastusprosessissa käytetään ainoastaan vähän kemikaaleja, sillä vaahdotus tapahtuu malmin luontaisessa pH:ssa.

Vaahdotusrikasteen pitoisuus on noin 200 g/t Au ja puhdistetun tärypöytärikasteen noin 90 % Au. Oriveden malmista ei voida valmistaa painovoimarikastetta, joten malmi rikastetaan ainoastaan vaahdottamalla.

Rikastuksessa kultamalmista talteen saatavat arvoaineet kattavat noin 5 % rikastukseen syötetystä malmista. Rikastuksen jäännösmateriaali, rikastushiekka, pumpataan lietteenä rikastushiekka-alueelle, jossa lietteestä erotetaan vesi laskeuttamalla. Selkeytetty vesi palautetaan rikastamolle prosessivedeksi. Prosessiin otetaan tarvittaessa lisävettä Stormin suljetusta nikkelikaivoksesta, jonne ylijäämavedet myös palautetaan.

7

Ni-tuotanto Lahnaslammen talkkikaivoksella

Mondo Mineralsin Lahnaslammen talkkikaivos (Kuva 6) sijaitsee Sotkamon kunnassa noin 20 km:n etäisyydellä Sotkamon keskustasta. Kaivos ja sen vieressä sijaitseva rikastamo ja hienojauhatuslaitos muodostavat yhdessä maailman suurimman talkin tuotantoyksikön. Esiintymä on ollut tunnettu jo 1900-luvun alussa ja kehitystyö talkin hyödyntämiseksi alkoi 1950-luvulla. Kaivostoiminta Lahnaslammen kaivospiirin alueella on alkanut vuonna 1968 ja varsinainen tuotanto 1969. Nikkeliä Lahnaslamella on rikastettu talkin sivutuotteena vuodesta 1974 alkaen. Vuotuinen louhinta on noin 0,5 Mt malmia.

Malmia louhitaan avolouhintana nykyisin 20 metrin tasoväleillä. Lahnaslammen kaivoksen tuotanto tulee päättymään vuonna 2010. Tuotantoa jatketaan Punasuon avolouhoksesta, joka sijaitsee vajaan kilometrin Lahnaslammelta etelään ja on Lahnaslammen kanssa samaa muodostumaa. Louhinnan päätyttyä avolouhos täytetään Punasuon sivukivillä ja tuotannossa syntyvällä rikastushiekalla. Lahnaslammelta tullaan louhimaan vajaat 18 Mt malmia ja noin 33 Mt sivukiveä. Avolouhoksen syvyys on 180 metriä.

Louhittu malmi ajetaan esimurskaamolle, jossa se murskataan alle 200 mm:n palakokoon. Esimurskauksesta malmi siirretään kuljettimilla seulan kautta väliavarastohalliin. Väliavarastosta esimurskattu malmi kulkee kuljetinta pitkin jälkimurskaamolle, jossa malmi murskataan kartiomurskaimella alle 25 mm:n raekokoon. Murskattu malmi jauhetaan vaahdotushienouteen (raekoko alle 0,1 mm) vesilietteessä kuulamylyllä, joissa käytetään jauhinkappaleina teräskuulia. Jauhettu talkkimalmi erotetaan vaahdotusprosessiin sykloneilla, ja karkeampi syklonien alite palautetaan uudelleen jauhatukseen.

Jauhettu malmi rikastetaan vaahdottamalla useassa vaiheessa. Esivaahdotusvaiheessa jauhetusta malmista syntyvä jäännös (magnesiittihiekka ja Ni-sulfidit) pumpataan nikkelivaahdotukseen ja erotettu talkin esirikaste pumpataan kertausvaahdotuk-



Kuva 6. Lahnaslammen talkkikaivos ja -tuotantoyksikkö Sotkamossa. (Kuva Mondo Minerals B. V. Branch Finland)

sien kautta sakeuttimeen. Prosessin lopputuotteena talkkimalmista (talkkipitoisuus 45–55 %) saadaan talkkirikastetta, jonka talkkipitoisuus on 96–98 %. Sakeuttimen jälkeen rikaste suodatetaan ja kuivataan, ja siirretään mikrotalkkitehtaalte jatkojalostettavaksi.

Nikkelirikaste erotetaan talkkimalmin esivaahdotuksen jäännöksestä monivaiheisessa vaahdotuksessa. Saatu nikkelirikaste suodatetaan kiekkosuodattimella ja siirretään varastoon. Rikastusjäännös pumpataan rikastushiekka-altaille. Nikkelirikaste toimitetaan asiakkaille kosteana rikasteena. Rikasteen nikkelipitoisuus on keskimäärin 8 % ja rikkipitoisuus 32 %.

Rikastushiekka koostuu pääosin magnesiitista ja se on läjitetty tehdasalueen itäpuolella sijaitseville rikastushiekka-altaille. Altailla selkeytynyt vesi johdetaan takaisin rikastamolle prosessivedeksi. Louhinnassa syntyvät sivukivet on läjitetty läjitysalueelle. Ne koostuvat pääosin mustaliuskeesta, kiilleliuskeesta ja heikkolaatuisesta talkkimalmista. Läjitysalueen suotovedet kerätään ja käsitellään ennen niiden juoksuttamista eteenpäin.

8

Pahtavaaran Au-kaivos

Lapland Goldminers AB aloitti kultamalmin louhinnan vuoden 2008 lopussa Pahtavaaran kultaesiintymästä Sodankylässä (Kuva 7). Jatkuva tuotanto Pahtavaaran rikastamolla käynnistettiin huhtikuussa 2009 (Lapland Goldminers AB 2010). Pahtavaaran kultaesiintymä löydettiin vuonna 1985, ja sitä ovat aiemmin hyödyntäneet Terra Mining Oy (1996–2000) ja Scan Mining Oy (2003–2007).



Kuva 7. Pahtavaaran kultakaivos Sodankylässä. (Kuva Lapland Goldminers AB)

Malmia louhitaan maanalaisesta kaivoksesta pengerlouhintana, ja se rikastetaan Pahtavaaran rikastamolla. Rikastamon kapasiteetti on noin 1500 t raakamalmia päivässä. Rikastusta varten malmi murskataan leukamurskaimella alle 200 mm:n kappalekokoon ja kuljetetaan hihnakuuljettimella välivaraston kautta jauhettavaksi. Malmi jauhetaan autogeenisesti märkäprosessissa 1,5 mm:n raekokoon. Jauhatusesta raskaampi jae johdetaan luokitussyklonin kautta painovoimaerotukseen ja kevyempi jae vaahdotukseen.

Painovoimarikastuspiiri koostuu Reichertin kartiosta, magneettierottimista, spiraaleista ja tärypöydästä. Reichertin kartiossa erotetusta painavammasta jakeesta poistetaan magneettierottimilla magneettinen aines, jonka jälkeen ei-magneettinen aines jaetaan spiraaleilla raskaaseen ja kevyeen jakeeseen. Raskas jae johdetaan edelleen tärypöydälle, jossa aineksesta erotetaan kertausrikastuksella GM-kultarikaste (gravity middling concentrate). Kevyempi jae palautetaan vedenpoistosyklonin kautta takaisin jauhatuseseen ja uudelleen painovoimapiiriin (Pohjois-Suomen ympäristölupavirasto 2006, Lapland Goldminers AB 2010).

Syklonierotuksesta saatavan kevyemmän jakeen vaahdotuspiiri käsittää esivaahdotuksen, ripevaahdotuksen ja rikasteen pesun. Pesty rikasteliete (F-rikaste ts. flotation concentrate) kuivataan edelleen sakeuttimella ja suodattimella. Vaahdotuksessa muodostuva rikastushiekka pumpataan vesilietteenä rikastushiekka-altaalle (Pohjois-Suomen ympäristölupavirasto 2006, Lapland Goldminers AB 2010).

Pahtavaaran kaivoksen vuosituotanto oli noin 600 kg kultaa vuonna 2009 ja vuonna 2010, kun tuotanto oli jatkuvasti käynnissä, tuotanto oli 740 kg. Vuoden 2011 alussa Pahtavaaran malmivarat olivat noin 577 000 t sisältäen kultaa noin 2,74 g/t (Lapland Goldminers AB 2011).

9

Hituran nikkelikuparikaivos

Hituran nikkelikuparikaivos sijaitsee Keski-Pohjanmaalla noin 130 kilometriä Oulusta etelään ja noin 12 kilometriä kaakkoon Nivalan keskustasta. Kaivos aloitti toimintansa vuonna 1969 Outokumpu Oy:n toimesta. Vuonna 1990 kaivoskirja siirrettiin Outokumpu Finnmines Oy:lle, vuonna 2007 Hitura Mining Oy:lle ja vuonna 2008

Finn Nickel Oy:lle. Kaivos oli suljettuna vuodesta 2009 vuoteen 2010, jolloin kaivos-toiminta käynnistettiin uudelleen Beldevere Mining Oy:n toimesta (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2010).

Vuoden 2008 alussa kaivoksen oman sisäisen arvion mukaan Hituran malmivarat olivat 2,35 Mt, nikkelipitoisuuden ollessa keskimäärin 0,62 %. Mahdollisesti hyödynnettävät resurssit ovat 1,45 Mt nikkelipitoisuuden ollessa keskimäärin 0,69 %.

Hituran kaivoksella louhitaan ja rikastetaan nikkelipitoista sulfidimalmia. Kaivos on varautunut rikastamaan myös muualta tuotua malmia. Kaivoksen tuotantokapasiteetti on 620 000 t/v ja se on tarkoitus nostaa 1 Mt:iin vuodessa aikaisintaan vuonna 2012. Malmista syntyy nikkelikuparirikastetta noin 4–8 % käsittelystä malmista. Jäännös on rikastushiekkaa, joka sijoitetaan rikastushiekka-alueelle. Nikkelikuparikaste koostuu pentlandiitista, kuparikiisusta, magneetikiisusta ja silikaateista. Rikastetta tuotetaan 30 000–35 000 t/v nikkelisisällön ollessa 2 200–3000 t. Tuotannossa muodostuu rikastushiekkaa noin 650 000 t/v. (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2010)

Malmin louhinta aloitettiin avolouhoksena. Vuonna 1991 siirryttiin maanalaiseen louhintaan. Avolouhoksen reunalta, tasolta 40 m, alkava vinotunneli johtaa maanalaisiin tiloihin. Sen kautta tapahtuu kaivosliikenne. Vinotunneli jakaantuu malmion läntisiin ja itäisiin osiin johtaviksi tunneleiksi. Malmin louhinnan työvaiheita ovat poraus, kiven irrotus räjäyttämällä, irrotetun kiven lastaus ja poiskuljetus sekä kallio-tilojen tuenta. Työhön liittyy keskeisesti maanalaisten tilojen tuuletus ja niihin valuvien sade- ja pohjavesien poisto. Räjäyttämällä irrotettu malmi samoin kuin sivukivi lastataan kuormaajilla kuorma-autoihin, joilla malmi kuljetetaan maanpinnalla sijaitsevaan murskaamoon tai välivarastoidaan murskaamon kentälle. Sivukivi ajetaan louhostäytteeksi eri puolille maanalaista kaivosta tai avolouhokselle tasolle +40 m, josta se kipataan avolouhoksen täytteeksi. (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2010)

Malmikiven rikastusprosessin vaiheet ovat malmin murskaus, jauhatus, vaahdotus ja veden poisto sekä varastointi ja lastaus. Rikastusprosessit tapahtuvat normaalissa paineessa ja lämpötilassa monivaiheisesti. Lopputuotteen, nikkelikuparirikasteen kosteusprosentti on 10 % ja se toimitetaan asiakkaille autoilla. Rikastamon toimintoihin kuuluu lisäksi prosessi- ja raakaveden hankinta sekä kemikaalien valmistus ja syöttö. (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2010)

10

Toimintaansa aloittavia kaivoshankkeita

Vuonna 2010 Suomessa oli edellä kuvattujen metallimalmikaivosten ohella aloittamassa toimintaansa mm. kaksi kultakaivosta (Pampalo ja Laiva), kaksi monimetallikaivosta (Kylälahti, Kevitsa) ja yksi litiumkaivos (Länttä). Alla on esitetty niiden toiminnasta lyhyet yhteenvedot. Näiden lisäksi vireillä oli useita eri vaiheissa olevia kaivoshankkeita, esimerkiksi Northland Resources AB:n Hannukaisen rauta-kupari-kultakaivoshanke, Gold Fields Arctic Platinum Oy:n Suhangon palladium-platina-kaivoshanke (Kilvenjärven kaivospiiri), Altona Mining Ltd:n Hautalammen nikkelikupari-kobolttiesiintymän hyödyntäminen, Adriana Resources Inc:n vanadiinikaivoshanke Mustavaarassa sekä Silver Resources Oy:n hopeakaivoshanke Sotkamossa.

Kultakaivokset

Laivakankaan kultaesiintymä löydettiin Raahen läheltä vuonna 1980. Nordic Mines AB on tehnyt kohteellista kulanetsintää alueella vuodesta 2005. Vuoden 2010 alussa valmistuneen kannattavuustutkimuksen mukaan Laiva-esiintymän malmivarannot olivat yhteensä 11,7 Mt, joten se on yksi Pohjoismaiden suurimpia kultaesiintymiä. Kullantuotannon on arvioitu alkavan alueella vuonna 2011 (Nordic Mines 2010). Kaivos toteutetaan avolouhoksena, josta on suunniteltu louhittavaksi vuosittain noin 2 Mt malmia. Arvioitujen malmivarojen kultapitoisuus on 2,09–2,4 g/t. B-malmia, jonka kultapi-

toisuus on noin 0,6 g/t, louhitaan noin 750 000 t vuodessa. Laivakankaan kaivoksen tuotantoprosessi tulee koostumaan seuraavista päävaiheista: louhinta, murskaus leukamurskaimella, kaksivaiheinen jauhatus, vaahdotus, painovoimaerotus, syanidirikastus ja rikastushiekan käsittely (Pohjois-Suomen ympäristölupavirasto 2009).

Ilomantsissa sijaitseva *Pampalon* kultamalmiesiintymä löydettiin vuonna 1990. Esiintymä on ollut Endomines AB:n hallussa vuodesta 2006 alkaen ja yhtiö sai kaivostoiminnalle ympäristöluvan vuonna 2008. Kullan tuotanto käynnistyi täysimääräisenä vuoden 2011 keväällä. Malmia tullaan louhimaan maanalaisesta kaivoksesta noin 200 000 t/v. Malmin käsittely tulee sisältämään murskauksen, jauhatuksen sekä rikastuksen ominaispainoerotuksella (karkea fraktio) ja vaahdotuksella (hieno fraktio) (Itä-Suomen ympäristölupavirasto 2008). Malmivaroja on arviolta noin 1,3 Mt. Arvioitujen malmivarojen kultapitoisuus on 4,1–6,1 g/t (Endomines 2010).

Monimetallikaivokset

Sodankylässä sijaitseva *Kevitsan* Ni-Cu-malmiesiintymä löydettiin vuonna 1985, ja se sisältää nikkelin ja kuparin ohella myös kultaa, kobolttia ja platinaryhmän metalleja. Kaivoksen omistaa First Quantum Minerals Ltd, joka teki päätöksen kaivoksen avaamisesta vuonna 2009. Kaivoksen rakentaminen käynnistyy keväällä 2010 ja tuotanto alkaa vuonna 2012. Malmia tullaan louhimaan avolouhoksesta arviolta noin 5 Mt/v. Se rikastetaan paikan päällä murskauksen ja jauhatuksen jälkeen selektiivisellä vaahdotuksella, jossa erotetaan ensin kuparirikaste ja sitten nikkelikaste. Arvioidut tuotantomäärät ovat nikkelikasteelle noin 85 000 t/v ja kuparirikasteelle 55 000 t/v. Kaivoksen arvioidut mineraalivarannot olivat vuoden 2009 lopussa yhteensä noin 165 Mt, jossa nikkelpitoisuus oli 0,30 % ja kuparipitoisuus 0,27 %. Kaivoksen eliniäksi on arvioitu 20 vuotta (FQML 2009).

Altona Mining Ltd:n *Kylylahden* monimetalliesiintymä sijaitsee Polvijärvellä. Se löydettiin vuonna 1984, ja kaivos aloittaa tuotannon vuoden 2012 alussa. Louhinta tullaan tekemään maanalaisena ja malmi kuljetetaan Luikonlahden rikastamolle rikastettavaksi. Rikastusmenetelmänä tullaan käyttämään vaahdotusta. Esiintymän arvioidut malmivarat ovat 8,4 Mt sisältäen 1,25 % Cu, 0,24 % Co, 0,20 % Ni, 0,54 % Zn ja 0,68 g/t Au. Altona Mining Ltd:llä on kaivospiiri myös Outokummussa Hautalammen Ni-Cu-Co esiintymään, jonka hyödyntäminen on lupavaiheessa. Lisäksi Altona Mining Ltd tutkii tällä hetkellä Kotalahden alueen nikkemiesiintymien (Valkeisenranta, Särkiniemi) hyödyntämismahdollisuuksia.

Litiumkaivos

Keliber Oy aikoo käynnistää lähivuosina litiumin louhinnan ja tuotannon Kokkolassa Ullavassa sijaitsevasta Läntän spodumeenipegmatiittiesiintymästä. Esiintymä löydettiin 1960-luvun alkupuolella. Kaivospiiri siirtyi vuonna 1999 Keliber Oy:lle (aiemmin Keliber Resources Ltd Oy). Toiminta sai ympäristöluvan vuonna 2006 (Länsi-Suomen ympäristölupavirasto 2006b). Kaivostoiminta tullaan aloittamaan avolouhintana ja myöhemmin siirrytään mahdollisesti maanalaiseen louhintaan. Vuosilouhinnan on arvioitu olevan noin 125 000 – 200 000 t/v. Malmi kuljetetaan louheena, esimurskattuna tai murskeena rikastettavaksi Kaustiselle, jossa litium erotetaan spodumeenista kuumennusta (kiderakenteen muuttaminen) ja paineliuotusta käyttäen, ja saostetaan karbonaatiksi (Länsi-Suomen ympäristölupavirasto 2006a, b, Keliber Oy 2010). Litiumkarbonaatin ohella Läntän esiintymästä tullaan tuottamaan myös niobi-tantaalirikastetta, kvartsi-maasälpärikastetta, murskettua sekä mahdollisesti myös natriumzeoliittia (analsiimia). Läntän esiintymän arvioidut malmivarat ovat noin 3 Mt sisältäen 0,92 paino-% Li_2O , 79 ppm Ta_2O_5 ja 80,3 paino-% kvartsi-maasälpäseosta (Keliber Oy 2010). Keliber Oy:llä on Läntän esiintymän lähellä useita muita litiumvaltauksia, esimerkiksi Emmes ja Jänislampi, joiden hyödyntämismahdollisuuksia yhtiö parhaillaan tutkii.

Lähteet

- Endomines 2010. Pampalo. <http://www.endomines.com/pampalo.php>. Luettu 19.5.2010.
- FQML 2009. Kevitsan monimetallikaivos. 14.12.2009. http://kaivos-fi-bin.directo.fi/@Bin/a6a966cddb-389498cead8eeee07482a4/1274270840/application/vnd.ms-powerpoint/111538/Kevitsa_perusesitys_fi_141209.pps#471,1,Slide 1. Luettu 19.5.2010.
- Itä-Suomen ympäristölupavirasto 2008. Pampalon kultakaivosta ja rikastamoa koskeva ympäristölupa ja Lietojanlammen padon vahvistaminen. Itä-Suomen ympäristölupavirasto. Päätös Nro 23/08/2, Dnro ISY-2004-Y-271. 21.2.2008.
- Keliber Oy 2010. Keliber – Nordic Mining group. <http://www.keliber.no/>. Luettu 16.6.2010.
- Lapland Goldminers AB 2010. <http://www.laplandgoldminers.se/> Luettu 17.6.2010.
- Lapland Goldminers AB 2011. Mineral Resource and Ore Reserve at Pahtavaara 01.01.2011. http://www.laplandgoldminers.se/Gismo/files/1170/pressrelease/mineral_resource_and_ore_reserve_at_pahtavaara_20110101.pdf Luettu 8.7.2011.
- Länsi-Suomen ympäristölupavirasto 2006a. Keliber Resources Ltd Oy:n Kaustisen Kalaveden litiumin tuotantolaitosta koskeva ympäristönsuojelulain mukainen ympäristölupahakemus. Lupapäätös Nro 35/2006/2, Dnro LSY-2005-Y-122. 30.11.2006.
- Länsi-Suomen ympäristölupavirasto 2006b. Keliber Resources Ltd Oy:n Ullavan Längän litiumkaivoksen toimintaa koskeva ympäristönsuojelulain mukainen ympäristölupahakemus sekä ympäristönsuojelulain 101 §:ssä tarkoitettu hakemus päätöksen täytäntöönpanosta muutoksenhausta huolimatta. Länsi-Suomen ympäristölupavirasto. Lupapäätös Nro 31/2006/2, Dnro LSY-2005-Y-123. 7.11.2006.
- Nordic Mines 2010. <http://www.nordicmines.se/en/nordic-mines/1261344-finish-page-2-b#Laiva 1b>. Luettu 19.5.2010.
- Pohjois-Suomen ympäristölupavirasto 2006. Pahtavaaran kultakaivoksen ympäristölupa sekä vesilain mukainen lupa, Sodankylä. Pohjois-Suomen ympäristölupavirasto. Lupapäätös Nro 68/06/1, Dnro PSY-2003-Y-194. 4.7.2006.
- Pohjois-Suomen ympäristölupavirasto 2009. Laivakankaan kaivoksen ympäristö- ja vesitalouslupa sekä töiden- ja toiminnanaloittamislupa, Raahe. Pohjois-Suomen ympäristölupavirasto. Lupapäätös Nro 84/09/2, Dnro Psy-2007-y-160. 24.11.2009.
- Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2010. Hituran kaivoksen ympäristö- ja vesitalouslupa sekä toiminnanaloittamislupa, Nivala. Pohjois-Suomen aluehallintovirasto, Ympäristöluvat. Lupapäätös Nro 66/10/1, Dnro PSAVI/3/04.08/2010. 13.8.2010.

Liite 2. REACH

I

REACH-menettelyt

REACH-asetuksessa edellytetään, että kemikaalien (joiden määrä ≥ 1 tonni/vuosi) valmistajat tai maahantuojat hankkivat tietoja aineidensa fysikaalis-kemiallisista, terveydellisistä ja ympäristöön vaikuttavista ominaisuuksista ja näiden tietojen perusteella määrittävät, kuinka aineita voidaan käyttää turvallisesti. Jokaisen valmistajan ja maahantuojan on toimitettava kemikaalivirastolle rekisteröintiasiakirjat, joissa dokumentoidaan nämä tiedot ja arviot. Kemikaalivirasto arvioi asiakirjat voidakseen arvioida rekisteröijän tekemät testausehdotukset tai tarkistaa, että rekisteröintiasiakirjat ovat vaatimustenmukaisia. Lisäksi kemikaalivirasto koordinoi aineen arviointia, jonka jäsenvaltiot tekevät tutkiakseen ongelmallisia kemikaaleja.

Lupa vaaditaan ensisijaisia erityistä huolta aiheuttavia aineita varten. Lupaa hakevan yrityksen on osoitettava, että näiden aineiden käyttöön liittyvät riskit on asianmukaisesti hallittu tai että niiden käytöstä koituvat sosioekonomiset edut ovat suurempia kuin riskit. Hakijan on myös tutkittava mahdollisuutta korvata nämä aineet turvallisemmilla vaihtoehtoilla tai tekniikoilla ja laadittava tarvittaessa korvaussuunnitelma.

Euroopan unioni voi asettaa rajoituksia tai ehtoja tiettyjen vaarallisten aineiden tai aineryhmien valmistukselle, markkinoille saattamiselle tai käytölle tai kieltää ne kokonaan, kun on tunnistettu ihmisille tai ympäristölle koituvia riskejä, joita ei voida hyväksyä.

Aineiden toimittajien on tiedotettava kemikaaliensa terveyttä, turvallisuutta ja ympäristönäkökohtia koskevista ominaisuuksista jatkokäyttäjilleen (joko käyttöturvallisuustiedotteen avulla tai muilla keinoin). Jatkokäyttäjät saavat käyttää vaarallisiksi luokiteltuja aineita tai aineita, jotka ovat hitaasti hajoavia, biokertyviä ja myrkyllisiä (PBT ja vPvB), ainoastaan, jos he soveltavat riskinhallintatoimenpiteitä, jotka on yksilöity niiden käyttöä koskevien altistumisskenaarioiden perusteella.

2

Soveltamisalaan kuuluvat kemikaalit

REACH-asetusta sovelletaan aineiden valmistukseen, markkinoille saattamiseen ja käyttöön sellaisenaan, valmisteissa tai esineissä sekä valmisteiden markkinoille saattamiseen. REACH-asetuksessa noudatetaan ainelähtöistä lähestymistapaa: velvoitteet eivät koske suoraan valmisteita ja esineitä, vaan niihin sisältyviä aineita (lukuun ottamatta käyttöturvallisuustiedotteita ja altistumisskenaarioita koskevia vaatimuksia, joita sovelletaan myös valmisteisiin).

REACH-asetusta sovelletaan kaikkiin aineisiin muutamaa vapautusta lukuun ottamatta: REACH ei koske radioaktiivisia aineita, tullin valvonnassa olevia aineita, aineiden kuljetusta eikä erottamattomia välituotteita. Myös jäte on nimenomaisesti suljettu REACH-asetuksen soveltamisalan ulkopuolelle. Useita muita aineita on osittain vapautettu REACH-asetuksen säännöksiin soveltamisalasta, kun muuta vastavaa lainsäädäntöä sovelletaan (esimerkkinä lääkkeissä käytettävät aineet).

Polymeerit on toistaiseksi vapautettu rekisteröintivelvoitteesta.

Erityissääntöjä sovelletaan tutkimukseen ja kehittämiseen käytettäviin aineisiin ja erotettujen välituotteiden rekisteröintiin.

3

Menetelmät ja työkalut

REACH-menettelyjen soveltaminen edellyttää useiden työkalujen tai menetelmien käyttöä. Osa niistä oli jo ennestään olemassa, osa on kehitetty REACH-asetuksen soveltamiseksi.

- Kemikaaliturvallisuusarviointi on tehtävä kaikille aineille, joita valmistetaan tai tuodaan maahan ≥ 10 tonnia vuodessa, jotta voidaan määrittää ja osoittaa aineen turvallinen käyttö.
- Altistumisskenaarioita käytetään arvioimaan ihmisten ja ympäristön altistumista kemikaaleille ja yksilöimään asianmukaiset riskinhallintatoimenpiteet.
- Aineiden luokitus ja merkinnät käsittävät aineen tai valmisteen vaarojen arvioinnin ja vaarasta tiedottamisen merkintöjen avulla. Kemikaalin luokituksesta seuraa tiettyjä velvoitteita, kuten esim. velvoite toimittaa käyttöturvallisuustiedote kemikaalin jatkokäyttäjille.
- REACH-asetuksen Liitteen XV mukaisilla asiakirja-aineistoilla (jäsenvaltioiden tai kemikaaliviraston) viranomaiset voivat tehdä ehdotuksia aineen mahdolliseksi sisällyttämiseksi lupamenettelyn piiriin kuuluvien aineiden luetteloon, rajoitusehdotuksia ja ehdotuksia luokituksen ja merkintöjen yhdenmukaistamiseksi.

REACH-menettelyjen tueksi ja kemikaaleja koskevien tietojen tallentamiseksi ja vaihtamiseksi on kehitetty erilaisia tietoteknisiä apuvälineitä: REACH-IT, IUCLID5 ja kemikaaliviraston verkkosivusto.

4

Toimijat

REACH-menettelyihin osallistuu kolmen tyyppisiä toimijoita: teollisuus, viranomaiset ja kolmannet osapuolet. Teollisuuden toimijat voidaan jakaa seuraaviin ryhmiin: aineiden valmistajat, esineiden tuottajat, maahantuoja, jatkokäyttäjät ja jakelijat. Viranomaiset, joilla on velvoitteita ja oikeuksia REACH-menettelyissä, ovat (erityisesti REACH-asetuksen soveltamiseksi perustettu) kemikaalivirasto, jäsenvaltioiden toimivaltaiset viranomaiset ja Euroopan komissio. Viranomaiset toteuttavat REACH-asetuksen mukaiset arviointi-, lupa- ja rajoitusmenettelyt. Lisäksi kemikaalivirasto ja jäsenvaltiot antavat neuvontapalveluja. Jäsenvaltiot vastaavat REACH-asetuksen täytäntöönpanon valvonnasta.

REACH-asetuksen mukaisia kolmansia osapuolia ovat yksityiset ja julkiset organisaatiot (kuten yksityishenkilöt, kansalaisjärjestöt, yritykset, jotka antavat tietoja asiakirja-aineistoihin, jotka eivät suoraan kosketa niitä, kansainväliset organisaatiot ja EU:n ulkopuoliset maat). Kolmansilla osapuolilla ei ole REACH-asetuksen mukaisia velvoitteita, mutta ne voivat antaa kemikaalivirastolle aineita koskevia tietoja ja osallistua tietojenvaihtofoorumiin.

Lisätietoja REACH:stä:

http://guidance.echa.europa.eu/about_reach_fi.htm

<http://www.chemind.fi/REACH>

http://ec.europa.eu/echa/home_en.html

<http://reach.startpagina.nl/>

<http://www.reachcentrum.eu/EN/home.aspx>

<http://www.reachcentrum.eu/legislation-reports.htm>

Liite 3. Taulukoissa I5 ja I6 esitettyjen mineraalien kaavat

Malmi-mineraalit	Mineraalikaava	Malmi-mineraalit	Mineraalikaava
Magneettikiisu	Fe_{1-x}S	Pentlandiitti	$(\text{Fe},\text{Ni})_9\text{S}_8$
Kuparikiisu	CuFeS_2	Co-pentlandiitti	$(\text{Co},\text{Ni},\text{Fe})_9\text{S}_8$
Rikkikiisu	FeS_2	Mackinawiitti	$(\text{Fe},\text{Ni},\text{Co})_{1+x}\text{S}$
Sinkkivälke	$(\text{Zn},\text{Fe})\text{S}$	Arseenikiisu	FeAsS
Magnetiitti	Fe_3O_4	Kromiitti	FeCr_2O_4
Ilmeniitti	FeTiO_3	Milleriitti	NiS
Lyijyhohde	PbS	Markasiitti	FeS_2

Harme-mineraalit	Mineraalikaava	Harmemine-raalit	Mineraalikaava
Kvartsi	SiO_2	Magnesiitti	MgCO_3
Kloriitti	$(\text{Mg},\text{Fe},\text{Al})_6(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$	Dolomiitti	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$
Serisiitti	$\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3)\text{O}_{10}(\text{OH},\text{F})$	Tremoliitti	$\text{Ca}_2(\text{Mg},\text{Fe})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
Kalsiitti	CaCO_3	Cr-granaatti (Uvaroviitti)	$\text{Ca}_3\text{Cr}_2(\text{SiO}_4)_3$
Sideriitti	FeCO_3	Flogopiitti	$\text{KMg}_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
Sarvivälke	$\text{Ca}_2(\text{Fe},\text{Mg})_4\text{Al}(\text{Si}_7\text{Al})\text{O}_{22}(\text{OH},\text{F})_2$	Diopsidi	$\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$
Plagioklaasi	$(\text{Na},\text{Ca})(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_8$	Skapoliitti	$(\text{Na},\text{Ca})_4(\text{Al}_3\text{Si}_9\text{O}_{24})\text{Cl}$
Kalimaasälpä	KAlSi_3O_8	Andradiitti	$\text{Ca}_3\text{Fe}_2(\text{SiO}_4)_3$
Talkki	$\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	Epidootti	$\text{Ca}_2(\text{Al},\text{Fe})_3(\text{SiO}_4)_3(\text{OH})$
Grafiitti	C	Apatiitti	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F},\text{Cl},\text{OH})$
Serpentiini	$(\text{Mg},\text{Fe})_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	Götiitti	$\alpha\text{-Fe}^{3+}\text{O}(\text{OH})$
Turмалиini	$(\text{Na},\text{Ca})(\text{Mg},\text{Fe}^{2+},\text{Fe}^{3+},\text{Al},\text{Mn},\text{Li})_3\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3(\text{Si}_6\text{O}_{18})(\text{OH},\text{F})_4$	Limoniitti	$\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$
Biotiitti	$\text{K}(\text{Mg},\text{Fe})_3(\text{Al},\text{Fe})\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$		

Liite 4. Esimerkki perustilaselvityksen sisällöstä

I Johdanto

- 1.1 Alueen sijainti ja yleiskuvaus
- 1.2 Alueelle suunnitellut toiminnot

2 Maastotutkimukset ja laboratorioanalyysit

Kuvaus käytetyistä tutkimusmenetelmistä ja -aineistoista

3 Alueen perustila

- 3.1 Ilmasto
- 3.2 Alueen maisema, topografia ja maankäyttö
Esim. infrastruktuuri, kaavoitus, liikenne, luonnonvarojen hyödyntäminen
- 3.3 Sosiaalis-ekonomiset tekijät (väestö, työllisyys, jne.)
- 3.4 Luonnonmaisema, luonto- ja metsätyypit; kasvillisuus ja eläimistö
Erityisesti uhanalaisten, rauhoitettujen tai harvinaisten lajien esiintyminen
- 3.5 Suojelualueet ja -kohteet sekä niiden suojeluperusteet
- 3.6 Alueen geologia ja geokemiallinen perustila
 - 3.6.1 Kallioperä
Kivilajit, rakoilu, ruhjeet, geokemia
 - 3.6.2 Maaperä
Maalajit, maaperän rakenne, hydrogeologiset tiedot, taustapitoisuudet
 - 3.6.3 Puro-/järvisedimentit, sammalet
Geokemialliset taustapitoisuudet
- 3.7 Alueen vedet ja niiden laatu
 - 3.7.1 Valuma-alueen/alueiden raja
 - 3.7.2 Pintavedet
Sijainnit, pinnan korkeudet, virtaussuunnat, virtaamat ja veden laatu
Vesien käyttö alueella
 - 3.7.3 Pohjavedet
Pinnan korkeudet, virtaussuunnat, virtaamat ja veden laatu, lähteet
 - 3.7.4 Alueen sijainti suhteessa pohjavesialueisiin ja veden käyttö alueella
- 3.8 Ilman laatu

4 Toiminnassa muodostuvat massat ja niiden ympäristökelpoisuus

- 4.1 Maanpoistomassat
- 4.2 Sivukivet
- 4.3 Rikastushiekka

5 Suositukset/ehdotukset toimintojen sijoittamisesta alueelle

6 Yhteenveto

Liite 5. Esimerkki Natura-arvioinnin sisällöstä

Natura-arvioinnissa kuvataan mm.:

- suunniteltu hanke ja siihen liittyvät toimenpiteet yksityiskohtaisesti,
- Natura 2000 -alueen luontoarvot, joiden suojelemiseksi alue on sisällytetty Natura 2000 -verkostoon,
- hankkeen liittyminen muihin hankkeisiin,
- hankkeen toiminta-alueen vaikutusalueen rajausta ja suhde Natura 2000 -alueeseen,
- vaikutusarvioinnissa käytettävät menetelmät ja selvitykset,
- luontotyyppi ja lajikohtainen arvio toimenpiteiden vaikutuksista ja merkittävyydestä Natura-alueen suojelutavoitteisiin ja Natura-alueen kokonaisuuteen ennen ja jälkeen vaikutuksia lieventäviä toimenpiteitä,
- vaikutuksia lieventävät toimenpiteet,
- mahdolliset vaihtoehtoiset ratkaisut toiminnalle,
- arvio arvioinnin epävarmuuksista, ja
- seurantatoimet vaikutusten todentamiseksi (vrt. Söderman 2003, Idman & Kahra 2007, TEM 2007, Ympäristöministeriö 2007).

Lähteet

- EC 2001. Assessment of plans and projects significantly affecting Natura 2000 sites. Methodological guidance on the provisions of Article 6(3) and (4) of the Habitats Directive 92/43/EEC. European Commission, Environment DG. European Communities 2002. http://ec.europa.eu/environment/nature/natura2000/management/docs/art6/natura_2000_assess_en.pdf. Luettu 19.3.2010.
- Idman, H. & Kahra, A. (toim.) 2007. Malminetsintä ja kaivostoiminta suojelualueilla sekä saamelaiden kotiseutualueella ja poronhoitoalueella: opas. KTM julkaisu 28/2007. 86 s.
- Söderman, T. 2003. Luontoselvitykset ja luontovaikutusten arviointi – kaavoituksessa, YVA-menettelyssä ja Natura-arvioinnissa. Suomen ympäristökeskus. Ympäristöopas 109. 196 s.
- TEM 2007. Natura-alueen huomioonotto valtaushakemuksissa. www.tem.fi/files/17153/Natura_paatokset.pdf Luettu 30.11.2011.
- Ympäristöministeriö 2007. Ympäristöasiat kaivoshankkeissa ja kansalaisten vaikutusmahdollisuudet. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=20631&lan=fi>. Päivitetty 23.3.2007. Luettu 10.3.2010.

Liite 6. Kaivannaisjätteiden näytteenottomenetelmät ja ominaisuuksien määrittäminen

I

Näytteenotto ja näytteiden esikäsittely

Kaivannaisjätteiden näytteenottomenetelmän valintaa ohjaavat näytteen edustavuus kullekin jätetyypille ja analyysimenetelmän asettamat vaateet näytteen minimikoolle ja esikäsittelylle. Näytteenottomenetelmä eri jätetyypeille voi vaihdella kaivostoiminnan alkuvaiheessa, toiminnan aikana ja toiminnan päättyessä (Taulukko 1, ks. myös CEN/TC292/WG1 2011).

Näytteiden esikäsittely tehdään kunkin analyysimenetelmän edellyttämien ohjeiden mukaisesti (Fletcher 1981, Niskavaara 1995). Yleensä esikäsittely sisältää näytteen kuivatuksen, hienontamisen ja/tai homogenoinnin ja näytteen osituksen eri määrityksiin. Kuivatus tehdään yleensä alhaisessa lämpötilassa (< 40 °C). Näytteet, joista tehdään heikkouuttoja tai jotka ovat herkkiä hapettumaan ilmakehässä, kuivataan kylmäkuivauksella (Heikkinen & Räisänen 2008). Kivinäytteet murskataan ensin ja jauhetaan sitten kunkin analyysimenetelmän vaatimaan raekokoon. Osa analyysimenetelmistä edellyttää myös rikastushiekkanäytteiden jauhamista kuivatuksen jälkeen.

Taulukko 1. Sivukivien ja rikastushiekkojen näytteenottoon soveltuvat menetelmät. (Ks. myös EN14899, Lottermoser 2007)

Kaivannaisjätetyyppi	Soveltuvuus
Sivukivi	
Yksittäinen näyte: palanäyte tai kairasydämen kerrosnäyte	Homogeenisen sivukivityypin ominaisuuksien määrittämiseen esim. kivilaji sisältää vähän visuaalisesti erotettavia sulfidimineraaleja
Yhdistelmänäyte koostuen 3–6 palanäytteestä tai kairasydänkerrosnäytteestä	Heterogeenisen sivukivityypin ominaisuuksien määrittämiseen, kun malmia rajaavan sivukiven kivilaji (typologia) on sama, mutta koostumus (esim. sulfidiproteisuus) vaihtelee esiintymän eri osissa
Kivisoijanäyte (kallioporausjauhe) esim. räjäytysreistä	Yksittäisen alkuaineen esim. sulfidisen rikin ja/tai karbonaattisen hiilen pitoisuuden määrittäminen jätelajittelun perusteeksi (kaatopaikkasijoitus – hyötykäyttö)
Rikastushiekka / sakkaliete	
Yksittäinen näyte koerikastuksen jätehiekasta/jätesakkalietteestä	Rikastushiekan/sakkalietteen ominaisuuksien määrittäminen ennen varsinaisen rikastustoiminnan aloittamista
Läjitäysalueen rikastushiekka-/sakkalietesyötteestä: yksittäinen tai yhdistelmänäyte (min. 3) useasta eri syötevirrasta	Rikastushiekan/sakkalietteen ominaisuuksien vaihtelun seuranta toiminnan aikana (kertaluonteinen tai ajallinen vaihtelu)
Yksittäinen rikastushiekkanäyte läjitäysalueen syötteestä: säännöllinen tai kertaluonteinen	Säännöllisin väliajoin toistuva näyte soveltuu geoteknisten ominaisuuksien määrittämiseen. Menetelmä soveltuu myös rikastushiekan ominaisuuksien muutosten seurantaan, kun rikastusprosessi muuttuu joko kertaluonteisesti tai malmisyötteen vaihtuessa
Sarjanäyte rikastushiekka-/sakkalietepatjan eri kerroksista:	Läjitetyn rikastushiekan/sakkalietteen koostumusvaihtelun/ muutoksen selvittäminen toiminnan aikana tai jälkeen
– lapiolla tai kaivinkoneella kaivetun kuopan seinämästä (kuivakerros)	Pintakerrosten koostumusvaihtelun määrittämiseen: erilliset näytteet jätteen hapettumisasteen tai koostumusvaihtelun mukaan (visuaaliset erot)
– kairaus: näyte erotettuna kerroksittain joko putkinäytteenottimeen ja/tai halkaistuun teräsnäytteenottimeen tai 0,5 m pituiseen läpivirtausterään	Koko jätetähtien koostumusvaihtelun määrittämiseen: erilliset näyttekerrokset erotetaan esim. hapettumistilan tai koostumusvaihtelun mukaan tai erotetaan tasamittaisiin kerrosväleihin (0,5 m ja/tai 1 m jne.); myös pohjakerrosten ominaisuuksien määrittämiseen (ei kalvorakenteisiin)

2

Mineralogiset tutkimukset

Kaivannaisjätteiden mineralogisessa määrittämisessä tunnistetaan jäteaineksen sisältämät mineraalit ja selvitetään niiden suhteelliset osuudet (Taulukko 2, ks. myös CEN/TC292/WG1 2011). Mineraalitutkimuksen tavoitteena on tunnistaa happoa tuottavat ja neutralointikykyiset mineraalit sekä potentiaalisia haitta-aineita sisältävät silikaattimineraalit ja suolamineraalit, jotka rapautuvat herkästi rautasulfidien hapettumisreaktioiden seurauksena (Weisener 2003, Lottermoser 2007). Sulfidimineraalien lisäksi potentiaalisia, happoa tuottavia mineraaleja voivat olla esimerkiksi myös Al- ja Fe-pitoiset silikaattimineraalit (kloriitti) sekä Fe- ja Mn-pitoiset sulfaattimineraalit (Blowes et al. 2003, Jambor 2003). Jätesakkalietteistä tunnistetaan kiteiset saostumineraalit (esim. sulfaatti-, oksihydroksidi- ja karbonaattisaostumat).

Sivukivien ja rikastushiekan mineraalien tunnistus tehdään tavallisesti kiillotetuista ohuthiestä valomikroskoopilla ja mahdollisesti myös hienorakeisesta kivijauheesta röntgendiffraktioanalyysillä (XRD, ks. Heikkinen & Räisänen 2008). Hienorakeisten jättejakeiden kuten rikastushiekan mineraalitunnistuksessa käytetään usein apuna myös elektronimikroskopiaa (Heikkinen & Räisänen 2008).

Mineraalien runsaussuhteiden määrittäminen perustuu yleensä joko ohuthiestä valomikroskoopilla tai MLA-laitteistolla tehtävään pistelaskumenetelmään (Heikkinen & Laukkanen 2007) tai röntgendiffraktioon perustuvaan Rietveld-menetelmään (Rietveld 1967 ja 1969, Raudsepp & Pani 2003). Mikroskooppitutkimuksilla voidaan selvittää myös materiaalien hyödyntämiseen vaikuttavia ominaisuuksia kuten mineraalirakeiden muotoa, raekokoja, mineraalirakeiden raja-intoja ja mineraalien rapautumistilaa (Weisener 2003). Elektronimikroskoopilla ja mikroanalytiikalla voidaan tutkia yksittäisten hienorakeisten mineraalien hivenalkuainekoostumusta tai sulfidimineraalien rapautumista. Rauta-, mangaani- ja alumiinisaostumien mineralogian voidaan tutkia esimerkiksi XRD- tai infrapuna-tekniikalla (IR-tekniikka, Kumpulainen et al. 2007).

3

Kemialliset analyysimenetelmät

Kaivannaisjätteiden kemiallinen kokonaiskoostumus voidaan määrittää joko näytetepuristeesta röntgenfluoresenssimenetelmällä (XRF) tai jauhetun näytteen kokonaisuuhtomenetelmällä tai sulatemenetelmällä (Taulukko 2). Jälkimmäisissä menetelmissä alkuainepitoisuudet määritetään uuttoliuoksista ICP-AES/MS-tekniikalla. Alkuaineiden kokonaispitoisuuksista voidaan laskea jätteen normatiivinen mineraalikoostumus koskien lähinnä päämineraalien, silikaattien ja mahdollisten karbonaattimineraalien suhteellisia osuuksia (Paktunc 1999). Happoliukoisten alkuaineiden pitoisuudet määritetään yleensä ns. osittaisuuttomenetelmillä, joista yleisimmin käytettyjä menetelmiä ovat kuuma kuningasvesiuutto tai väkevä typpihappouutto (Niskavaara 1995). Happouutteista alkuainepitoisuudet mitataan ICP-AES/MS-tekniikalla. Näillä happouutoilla mitattu alkuainekoostumus heijastaa kiille- ja savimineraaleihin, suolamineraaleihin ja sulfidimineraaleihin sitoutuneita alkuainepitoisuuksia (Doležal et al 1968, Räisänen et al. 1992). Mineraalien pintaan ja saostumiin sitoutuneita alkuaineita voidaan lisäksi tutkia heikkouuttomenetelmillä joko sarja- tai erillisuuttolina (Dold & Fontboté 2001, Heikkinen & Räisänen 2008).

Taulukko 2. Kaivannaisjätteiden mineralogisen ja kemiallisen koostumuksen määrittäminen.

Mineralogia	Kemiallinen koostumus	Erillisuutot (heikko uuttomenetelmät)
Mineraalien tunnistus Optinen mikroskopia – läpivalaisu (ohuthie) – heijastus (pintahie) Elektronimikroskopia (EM) ²⁾ Röntgendiffraktio (XRD) ²⁾ Infrapuna (IR) ²⁾	Kokonaispitoisuuden määrittäminen XRF-menetelmä Sulatemenetelmä + ICP-AES/MS Kokonaisliuotus + ICP-AES/MS S: poltto+IR (Leco-S) C: poltto+IR (C-analysaattori) Karbonaattinen C, $C_{\text{karb}} = C_{\text{totaali}} - C_{\text{HCl-uutettu}}$	Sarjauutto ¹⁾ – Dold 1999 ja Dold & Fontboté 2001 Selektiivinen erillisuuttosarja ²⁾ Sulfidiset metallit ³⁾ – H ₂ O ₂ +sitraattiuutto (Labtium Oy) Alkuainespesiaatio – esim. CrVI ja CrIII tai AsV ja AsIII ⁴⁾
Mineraalikoostumus Röntgendiffraktio (XRD) – Rietveld-menetelmä Pyyhkäisy-EM+EDAX – MLA-määrittäminen (Mineral Liberation Analysis)	Osittaisuuttomenetelmät – happoliukoiset pitoisuudet AR-uutto + ICP-AES/MS HNO ₃ -uutto + ICP-AES/MS	

¹⁾ Dold 1999, Dold & Fontboté 2001²⁾ Kumpulainen *et al.* 2007, Heikkinen & Räisänen 2008 ja 2009³⁾ Fletcher 1981, Young 1974⁴⁾ Backman *et al.* 2006, Koivuhuhta *et al.* 2008

4

Staattiset testit

Kaivannaisjätteen potentiaalinen hapontuottokyky ja neutralointiominaisuudet määritetään yleensä joko ns. staattisilla testeillä tai osittain jätteen mineralogiaan perustuen (Taulukko 3). Happonemäslaskuun (ABA) perustuvien määrittäytulosten perusteella arvioidaan, voiko jätteestä muodostua pitkällä aikavälillä happamia valumavesiä (Jambor 2003). ABA-tulokset ohjaavat jätteen sijoituksen ja jälkihoidon suunnittelua (Verburg *et al.* 2009).

Jätteen hapontuotto-ominaisuus liittyy rautasulfidien läsnäoloon ja niiden hapettumisreaktioissa vapautuvaan happamuuden kasvuun. Hapontuotto ja sen neutralointi määritetään rikkikiisun (FeS₂) hapettumisreaktion mukaan: yksi mooli sulfidista rikkiä tuottaa kaksi moolia happoa (protoneja), joka neutraloituu yhdellä moolilla kalsiumkarbonaattia. Tähän perustuen hapontuottopotentiaali (AP) lasketaan yleensä jätteen sulfidisen rikin kokonaispitoisuudesta (Jambor 2003).

Neutralointipotentiaali voidaan laskea joko karbonaattisen hiilen kokonaispitoisuudesta, karbonaattisten mineraalien kokonaismäärästä tai staattisen testin tuloksen perusteella (Taulukko 3). Staattisessa testissä voidaan määrittää joko erikseen jätteen kokonaisneutraloimiskyky (NP) ja hapontuottopotentiaali (AP, ks. edellä), tai mitata ns. nettoneutralointipotentiaali jätteen sisältämien sulfidien hapettumisesta vapautuvan hapon ja sen neutraloitumisen yhteissummasta. Kokonaisneutraloimiskykyä mittaavassa menetelmässä näytteen sisältämät karbonaattimineraalit pyritään liuottamaan happouutolla, jossa happona käytetään yleensä suolahappoa, HCl (Lawrence & Wang 1997, Jambor 2003), ja neutralointipotentiaali määritetään uutteen titrauksessa kuluneen hapon määränä laskettuna kg CaCO₃/t. Karbonaattisen hiilen kokonaispitoisuuteen perustuvaa neutralointipotentiaalin laskemista suositellaan jätteille, joissa on hitaasti liukenevia karbonaattimineraaleja, kuten magnesiittia tai ankeriittia, jotka eivät useinkaan liukene kokonaan staattisessa testissä.

Sulfidien hapettamiseen (liuottamiseen) perustuvassa staattisessa menetelmässä reagenssina käytetään vetyperoksidia. Tätä menetelmää kutsutaan NAG-testiksi (Net Acid Generation), joka on yleisesti käytössä Australiassa (AMIRA International 2002, Miller *et al.* 1997). Menetelmän avulla saadaan arvio sulfidien rapautumiseen liittyvästä kokonaishapontuotosta, kun testin hapettumisreaktioissa tapahtuu samanaikaisesti myös karbonaattien ja/tai silikaattien liukeneminen ja siitä syntyvä hapon neutralointi (Räisänen *et al.* 2010). Menetelmä voidaan toteuttaa joko yksivaiheisena tai sarjauuttona sulfidimineraalien määrän mukaan. Sarjauuttoa suositellaan näytteille, joissa sulfidisen rikin kokonaispitoisuus on yli 1 % ja/tai näyte sisältää hitaasti rapautuvaa arseenikiisua tai kuutioina esiintyvää rikkikiisua. Uutossa happoa syntyy sulfidien hapettumisessa syntyvästä rikkihaposta sekä hapettumisreaktioissa liuenneen raudan ja muiden sulfidisten metallien saostumisesta. NAG-testiin liittyy myös neutralointipotentiaalin määrittäminen joko staattisella testillä tai karbonaattisen hiilen kokonaispitoisuudesta laskemalla.

Kaivannaisjäteasetuksen (VNA 717/2009 Liite 1) mukaan happoa tuottavan kaivannaisjätteen neutraloimisipotentiaali määritetään pysyvän jätteen luokittelussa CEN prEN 15875 menetelmällä (vrt. Lawrence & Wang 1997, ks. myös CEN/TC292/WG1 2011). Jätteen luokitteluun happoa muodostavaksi tai muodostamattomaksi perustuu neutralointi- ja hapontuottopotentiaalin (NP/AP) suhdelukuun ja sulfidisen rikin kokonaispitoisuuteen (Taulukko 3, EC 2009).

Taulukko 3. Staattiset testimenetelmät.

Staattiset testit	CEN prEN 15875 ¹⁾	Sobek-testi (EPA 600) ²⁾
Menetelmäkuvaus	1 M HCl-uutto (2 g näyte / 90 ml happo), uutteen titraus pH 8,3 0,1 M NaOH-liuoksella	0,1 M tai 0,5 M HCl-uutto (2 g näyte / 20-80 ml happo), uutteen titraus pH 7 0,1 M tai 0,5 M NaOH-liuoksella ²⁾
Hapontuottopotentiaalin (AP) määrittäminen	$AP = 0,625 * S_{\text{totaali}} \text{ (mol H}^+/\text{kg)}$ tai $31,25 * S_{\text{totaali}} \text{ (kg CaCO}_3/\text{t)}$	$AP = 31,25 * (\text{sulfidinen S \%} + \text{happoa tuottava sulfaattinen S \%}) \text{ (kg CaCO}_3/\text{t)}$
Neutralointipotentiaalin (NP) määrittäminen	$NP = 83,34 * C_{\text{karb}} \text{ (kg CaCO}_3/\text{t)}$ ja/tai titrauksessa kuluneen hapon määrä lasketaan $\text{mol H}^+/\text{kg}$ tai $\text{kg CaCO}_3/\text{t}$	NP = titrauksessa kuluneen hapon määrä lasketaan $\text{kg CaCO}_3/\text{t}$
Happoa tuottavan / tuottamattoman jätteen määrittäminen	$NP/AP < 3$ ja $S > 0,1$ % happoa tuottava jäte, $NP/AP > 3$ ja $S < 1$ % happoa tuottamaton jäte ³⁾	$AP > NP$ ja/tai $NNP (=NP-AP)$ on alle 20 $\text{kg CaCO}_3/\text{t}$, happoa tuottava jäte
Staattiset testit	I-vaiheinen NAG testi ⁴⁾	Sarja-NAG testi ⁴⁾
Menetelmäkuvaus	15 % H_2O_2 hajotus (2,5 g näyte / 250 ml H_2O_2), uutteen pH 4,5 ja pH 7 titraus 0,1 M tai 0,5 M NaOH-liuoksella	toistetaan I-vaiheisen NAG-testin uutto 2–3 kertaa ($S > 1$ %) tai useammin sulfidien runsauden mukaan
Maksimihapontuottopotentiaalin (MPA) määrittäminen	$MPA = 30,6 * S_{\text{totaali}} \text{ (kg H}_2\text{SO}_4/\text{t)}$	$MPA = 30,6 * S_{\text{totaali}} \text{ (kg H}_2\text{SO}_4/\text{t)}$
Neutralointikapasiteetin (ANC) määrittäminen	ANC: esim. Sobek-testillä tai muu HCl-uutto, titrauksessa kuluneen hapon määrä lasketaan $\text{kg H}_2\text{SO}_4/\text{t}$	ANC: esim. Sobek-testillä tai muu HCl-uutto, titrauksessa kuluneen hapon määrä lasketaan $\text{kg H}_2\text{SO}_4/\text{t}$
Happoa tuottavan / tuottamattoman jätteen määrittäminen	$NAG_{\text{pH} \geq 4,5} \geq 4,5$ ja $NAG = 0$, ei-happoa muodostava jäte; $NAG_{\text{pH} < 5}$ ja $NAG > 5$, happoa muodostava jäte tai $NAG \leq 5$, heikosti happoa muodostava jäte	$NAG_{\text{pH} \geq 4,5} \geq 4,5$ ja $NAG = 0$, ei-happoa muodostava jäte; $NAG_{\text{pH} < 5}$ ja $NAG > 5$, happoa muodostava jäte tai $NAG \leq 5$, heikosti happoa muodostava jäte

¹⁾ Standardiehdotus, EU (CEN/TC292/WG8), vrt. Lawrence & Wang 1997

²⁾ Sobek *et al.* 1978 (USA); hapon ja emäksen molaarisuus määritetään Fizz-testillä

³⁾ Kaivannaisjäteasetus (VNA 717/2009)

⁴⁾ AMIRA International 2002, vrt. Miller *et al.* 1997

5

Kineettiset testit

Kineettisen testin tavoitteena on arvioida, muodostuuko jätteestä happamia valumavesiä. Se soveltuu jäteainekselle, joka on happo-emäslaskennan perusteella happoa tuottava jäte, tai jolle hapontuotto- ja neutralointiominaisuuksien määrittäminen antaa riskitaitaisen tuloksen jätemateriaalin hapon muodostusominaisuudesta (Lapakko 2003). Testausolosuhteet mitoitetaan yleensä arvioimaan mineraalien maksimirapautumista hapettavassa tilassa (Lapakko 2003). Testi ei kuitenkaan pyri jäljittämään luonnon olosuhteita jätteen läjitysalueella, minkä vuoksi testin tulokset eivät anna riittävän luotettavaa kuvaa jäteaineksen rapautumisesta ja suotovesien koostumuksesta todellisissa läjitysoloissa (Villeneuve *et al.* 2009).

Kineettisiä testimenetelmiä on useita. Testi voidaan tehdä laboratoriossa kolonnikokeina tai kenttäoloissa isoissa sammioissa. Suomessa kaivannaisjätteiden testaamiseen on käytetty kosteuskammion menetelmää (Kaartinen & Wahlström 2005). Kosteuskammio-testissä näytettä hapetetaan johtamalla sen läpi kosteaa ilmaa (60 meshin jauhettu näyte). Kerran viikossa tehdyistä näytteen läpi johdetuista huuhteluvesistä mitataan pH, sähkönjohtokyky ja liuenneet ionipitoisuudet. Testin kesto voi olla 20 viikosta yhteen vuoteen tai useampaan vuoteen (ks. CEN/TC292/WG1 2011).

6

Geotekniset tutkimukset

Geoteknisten tutkimusten tavoitteena on selvittää niitä ominaisuuksia, joiden perusteella suunnitellaan turvallinen läjitysalue ja -tekniikka. Mittausten laajuus ja sisältö määräytyvät jätteen läjitystekniikan valinnan mukaan ja läjittämiseen liittyvien turvallisuusvaateiden mukaan (patoturvallisuus, suuronnettomuusvaaran riski, VNA 717/2009 Liitteet 2 ja 3).

Sivukivien geotekniset mittaukset rajoittuvat lähinnä lohkokarkoon ja mahdollisesti kiviaineksen ominaispainon arviointiin. Tämä liittyy läjityskasan reunakaltevuu-den suunnitteluun ja sortumavaaran (turvallisuus, jälkihoito) huomioimiseen, sekä mahdollisen pohjamaan painumisen arviointiin (pohjamaan kuormituksen kesto/vakavuusarvio). Lietemäisten jätteiden, kuten rikastushiekkojen, geoteknisten ominaisuuksien määrittäminen liittyy läjitysalueen turvallisuuden ja vakavuuden suunnitteluun, jossa keskeisenä on patomateriaalien valinta ja mitoitus sekä läjityksen maksimikorkeuden arviointi. Rikastushiekoista ja vesipitoisista lietejätteistä määritetään niitä geoteknisiä ominaisuuksia, joita käytetään läjitysalueen mitoituksen suunnitteluun, turvallisuusriskien hallinnan suunnitteluun ja jälkihoitosuunnitteluun (VNA 717/2009 Liite 3). Mitattavia geoteknisiä ominaisuuksia ovat esimerkiksi:

- raekokojakauma, rakeiden ominaispinta-ala ja muoto
- tiheys / ominaispaino
- vesipitoisuus, veden pidätyskyky ja johtavuusominaisuudet (kapillaarisuus)
- huokosveden paine (jätteestä tehdyissä korotetuissa pato-osissa)
- huokoisuus
- plastisuus
- leikkauslujuus (vakavuus), ja
- tiivistymis- ja/tai kokoonpuristuvuusominaisuudet (lisätietoja: Rantamäki *et al.* 1979, ks. myös CDN/TC292/WG1 2011).

Lähteet

- AMIRA International 2002. ARS Test Handbook. Project P387A Prediction & Kinetic Control of Acid Mine Drainage.
- Backman, B., Luoma, S., Ruskeeniemi, T., Karttunen, V., Talikka, M. & Kaija, J. 2006. Natural Occurrence of arsenic in the Pirkanmaa region in Finland. Geological Survey of Finland, Miscellaneous Publications. 82 s.
- Blowes, D. W., Ptacek, C. J. & Jurjovec, J. 2003. Mill tailings: Hydrology and geochemistry. Julk: J. L. Jambor, D. W. Blowes and A. I. M. Ritchie (eds.) Environmental aspects of mine wastes. Mineralogical Association of Canada. Short Course Series, volume 31: 95-116.
- CEN/TC292/WG1 2011. Technical Report - Characterization of waste - Overall guidance document on characterization of wastes from the extractive industry – Fifth draft, 19th April 2011.
- Dold, B. 1999. Mineralogical and geochemical changes of copper flotation tailings in relation to their original composition and climatic setting – implications for acid drainage and element mobility. PhD thesis, Terre et Environment, Université de Genève, Volume 18. 230 s.
- Dold, B. & Fontboté, L. 2001. Element cycling and secondary mineralogy in porphyry copper tailings as a function of climate, primary mineralogy, and mineral processing. Journal of Geochemical Exploration 74, 3-55.
- Doležal, J., Provondra, P. & Šulcek, Z. 1968. Decomposition techniques in inorganic analysis. Iliffe Books Ltd, London. 224 s.
- EN 14899 2005. Characterization of waste - Sampling of waste materials - Framework for the preparation and application of a Sampling Plan. CEN/TC 292 – Characterization of waste, 99/31/EC.
- Fletcher, G. J. S. 1981. Handbook of exploration geochemistry. Volume 1. Analytical Methods in geochemical prospecting. Amsterdam, Elsevier. 255 s.
- Heikkinen, P. M. & Laukkanen, J. 2007. Rikastushiekköjen ja sivukivien mineraloginen ja kemiallinen koostumus sekä neutraloimispotentiaalisuhteet – tuloksia kahdeksalta eurooppalaiselta kaivokselta. Geologian tutkimuskeskus, arkistoraportti S/49/0000/2007/93. 22 s.
- Heikkinen, P. M. & Räisänen, M. L. 2008. Mineralogical and geochemical alteration of Hitura sulphide mine tailings with emphasis on nickel mobility and retention. Journal of Geochemical Exploration 97 (1), 1-20.
- Heikkinen, P. M. & Räisänen, M. L. 2009. Heavy metal and As fractionation in sulphide mine tailings – indicators of sulphide oxidation in active tailings impoundments. Applied Geochemistry 24, 1224-1237.
- Jambor, J. L. 2003. Mine-waste mineralogy and mineralogical perspectives of acid-base accounting. Julk: Jambor, J.L., Blowes, D.W. & Ritchie, A.I.M. (Eds.) Environmental aspects of mine wastes. Mineralogical Association of Canada. Short Course Series Volume 31: 117-145.
- Kaartinen, T. & Wahlström, M. 2005. Hituran kaivoksen sivukivien ja rikastushiekan staattiset kokeet ja liukoisuuskokeet. Työraportti, VTT Prosessit 19.5.2005. 32 s.
- Koivuhuhta, A., Räisänen, M. L., Hämäläinen, L. & Kekäläinen, J. 2008. Modification of the NH₂ column method for chromium speciation in surface water and soil water. Bulletin of Geological Society of Finland Volume 80, 125-136.
- Kumpulainen, S., Carlson, L. & Räisänen, M.-L. 2007. Seasonal variations of ochreous precipitates in mine effluents in Finland. Applied Geochemistry 22, 760-777.
- Lapakko, K. A. 2003. Development in humidity-cell tests and their application. Julk: J. L. Jambor, D. W. Blowes & A. I. M. Ritchie (eds.) Environmental aspects of mine wastes. Mineralogical Association of Canada. Short Course Series, Volume 31: 147-164.
- Lawrence, R. W. & Wang, Y. 1997. Determination of neutralization potential in the prediction of acid rock drainage. Proceedings Fourth International Conference on acid rock drainage, Vancouver, B. C. Canada May 31 – June 6, 1997, Volume I: 451-464.
- Lottermoser, B. G. 2007. Mine wastes. Characterization, Treatment, Environmental Impacts. Second Edition. Springer Berlin. 304 s.
- Miller, S., Robertson, A. & Donahue, T. 1997. Advances in acid drainage prediction using the net acid generating (NAG) test. Proceedings Fourth International Conference on acid rock drainage, Vancouver, B. C. Canada May 31 – June 6, 1997, Volume II: 533-547.
- Niskavaara, H. 1995. A comprehensive scheme of analysis for soils, sediments, humus and plant samples using inductively coupled plasma atomic emission spectrometry (ICP-AES). Julk: S. Autio (Ed.) Geological Survey of Finland, Special Paper 20, 167-175.
- Paktunc, A. D. 1999. Mineralogical constraints on the determination of neutralization potential and prediction of acid mine drainage. Environmental Geology 39, 103-112.
- Rantamäki, M., Jääskeläinen, R. & Tammirinne, M. 1979. Geotekniikka. Otatiето 464. Oy Yliopistokustannus/Otatiето, Helsinki, 307 s.
- Raudsepp, M. & Pani, E. 2003. Application of Rietveld analysis to environmental mineralogy. Julk: J. L. Jambor, D. W. Blowes & A. I. M. Ritchie (eds.) Environmental aspects of mine wastes. Mineralogical Association of Canada. Short Course Series, Volume 31: 165-180.
- Rietveld, H. M. 1967. Line profiles of neutron powder-diffraction peaks for structure refinement. Acta Crystallography 22, 151-152.

- Rietveld, N. M. 1969. A profile refinement method for nuclear and magnetic structures. *Journal of Applied Crystallography* 2, 65-71.
- Räisänen, M. L., Tenhola, M. & Mäkinen, J. 1992. Relationship between mineralogy and the physico-chemical properties of till in central Finland. *Bulletin of the Geological Society Finland* Volume 64 (1): 35-58.
- Räisänen, M. L., Kauppila, P. M. & Myöhänen, T. 2010. Suitability of static tests for acid rock drainage assessment of mine waste rock. *Bulletin of the Geological Society of Finland*, Volume 82: 33-43.
- Sobek, A. A., Schuller, W. A., Freeman, J. R. & Smith, R. M., 1978. Field and laboratory methods applicable to overburdens and mine soils. United States Environmental Protection Agency EPA-600/2-78-054. P. 47-62.
- Verburg, R., Bezuidenhout, N., Chatwin, T. & Ferguson, K. 2009. The global acid rock drainage guide (GARD Guide). *Mine Water and the Environment* 28, 305-310.
- Villeneuve, M., Bussière, B., Benzaazoua, M. & Aubertin, M. 2009. Assessment of interpretation methods for kinetic tests performed on tailings having a low acid generating potential. Conference Proceedings Securing the future, Mining, metals and environment in a sustainable society and 8th ICARD International Conference on acid rock drainage Skellefteå, Sweden June 22 – June 26 2009. <http://www.proceedings-stfandicard-2009.com>
- Villeneuve, M., Bussière, B., Benzaazoua, M. & Aubertin, M. 2009. Assessment of interpretation methods for kinetic tests performed on tailings having a low acid generating potential. Paper presented at Securing the Future and 8th ICARD, June 23-26, 2009, Skellefteå, Sweden. <http://www.proceedings-stfandicard-2009.com>
- Weisener, C. G. 2003. Novel spectroscopic techniques to characterize mine waste. *Julk: J. L. Jambor, D. W. Blowes & A. I. M. Ritchie (eds.) Environmental aspects of mine wastes. Mineralogical Association of Canada. Short Course Series, Volume 31: 181-202.*
- Young, R. S. 1974. *Chemical Phase Analysis*. Charles Griffin and Company Ltd. 138 s.

KUVAILULEHTI

Julkaisija	Suomen ympäristökeskus (SYKE)	Julkaisuaika	Joulukuu 2011
Tekijä(t)	Päivi Kauppila, Marja Liisa Räisänen ja Sari Myllyoja (toim.)		
Julkaisun nimi	Metallimalmikaivostoiminnan parhaat ympäristökäytännöt		
Julkaisusarjan nimi ja numero	Suomen ympäristö 29/2011		
Julkaisun teema	Ympäristönsuojelu		
Julkaisun osat/ muut saman projektin tuottamat julkaisut	Julkaisu on saatavana myös internetistä: www.ymparisto.fi/syke/julkaisut		
Tiivistelmä	<p>Suomeen on viime vuosina avattu merkittäviä uusia kaivoksia (Suurikuusikko, Talvivaara), toimivien kaivosten tuotantoa lisätään ja useita kaivosprojekteja on käynnissä. Kaivostoiminta on teollisuudenala, joka tuottaa tarpeellisia raaka-aineita mm. metalli-, kemian- ja paperiteollisuudelle, maataloudelle sekä lukuisille muille toimialoille. Kaivostoiminta vaikuttaa vääjäämättömästi ympäristöönsä. Kielteisten ympäristövaikutusten ennaltaehkäisy edellyttää parhaan käyttökelpoisen tekniikan (BAT, Best Available Techniques) soveltamista kaivannaistoimintaan malminetsinnästä ja kaivoksen suunnittelusta alkaen – läpi toiminnan elinkaaren – kaivoksen sulkemiseen ja jälkihoitoon asti. Julkaisussa tarkastellaan metallimalmikaivosten ympäristönäkökohtia kaikissa toiminnan elinkaaren vaiheissa kattaen lainsäädännön, toimintaan liittyvät päästöt ja ympäristövaikutukset, tarvittavat ympäristöselvitykset sekä menetelmät ja tekniikat päästöjen ja ympäristövaikutusten vähentämiseksi. Julkaisussa esitetään ratkaisumalleja Suomen olosuhteisiin soveltuvista metallimalmikaivannaissektorin parhaista ympäristökäytännöistä. Julkaisu on kirjoitettu yhteistyössä Geologian tutkimuskeskuksen, Kainuun ja Lapin ELY-keskusten, Pohjois-Suomen aluehallintoviraston, Kaivannaisteollisuus ry:n ja Suomen ympäristökeskuksen kanssa. Julkaisu on tarkoitettu sekä toiminnanharjoittajien, lupa- ja valvontaviranomaisten että alan konsulttien käytettäväksi kaivostoiminnan suunnittelussa, toteutuksessa ja toiminnan päättämisessä.</p>		
Asiasanat	Metallimalmikaivokset, parhaat ympäristökäytännöt, ympäristölainsäädäntö, päästöt, ympäristövaikutukset, kaivannaisjätteet, kaivosten sulkeminen		
Rahoittaja/ toimeksiantaja	Suomen ympäristökeskus (SYKE)		
	ISBN 978-952-11-3941-3 (nid.)	ISBN 978-952-11-3942-0 (PDF)	ISSN 1238-7312 (pain.)
	Sivuja 213	Kieli Suomi	ISSN 1796-1637 (verkkokj.) Hinta (sis. alv 8 %) 37 €
Julkaisun myynti/ jakaja	Myynti: Edita Publishing Oy Asiakaspalvelu: PL 780, 00043 EDITA, puh. 020 450 05, faksi 020 450 2380 asiakaspalvelu.publishing@edita.fi , www.edita.fi/netmarket		
Julkaisun kustantaja	Suomen ympäristökeskus (SYKE), PL 140, 00251 Helsinki Sähköposti: neuvonta.syke@ymparisto.fi , www.ymparisto.fi/syke		
Painopaikka ja -aika	Edita Prima Oy, Helsinki 2011		

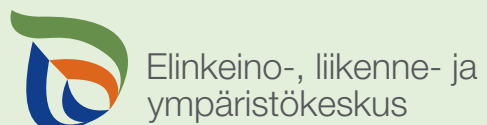
PRESENTATIONSBLAD

Utgivare	Finlands miljöcentral (SYKE)	Datum	December 2011
Författare	Päivi Kauppila, Marja Liisa Räisänen och Sari Myllyoja (red.)		
Publikations titel	Metallimalmikaivostoiminnan parhaat ympäristökäytännöt (Bästa miljöpraxis för metallgruvverksamhet)		
Publikationsserie och nummer	Miljön i Finland 29/2011		
Publikationens tema	Miljövård		
Publikationens delar/andra publikationer inom samma projekt	Publikationen finns tillgänglig också på internet: www.ymparisto.fi/syke/publikationer		
Sammandrag	<p>I Finland har under de senaste åren öppnats betydande nya gruvor (Suurikuusikko, Talvivaara), medan produktionen ökas i gamla gruvor och flera nya gruvprojekt är i gång. Gruvverksamheten är en industrigren som producerar råvaror för behov i bland annat metall-, kemi- och pappersindustrin, inom jordbruket och i många andra branscher. Gruvverksamheten har dock sina miljökonsekvenser. För att förebygga de negativa miljökonsekvenserna bör man tillämpa den bästa tillgängliga tekniken (BAT, Best Available Techniques) under gruvverksamhetens hela livscykel – från malmletningen och planeringen av gruvan genom driftskedet ända tills gruvan stängs och de eftervårdande åtgärderna utförs. I publikationen presenteras miljösynpunkter på alla skedena i metallmalmgruvornas livscykel, bland annat lagstiftningsfrågor, utsläpp som sker i samband med verksamheten, miljökonsekvenser, behövliga miljöutredningar samt olika slags metoder och tekniker för minskande av utsläpp och miljökonsekvenser. I publikationen presenteras Lösningssmodeller för bästa miljöpraxis inom metallmalmgruvindustrin när det gäller finländska förhållanden. Publikationen har utarbetats i samarbete med Geologiska forskningscentralen, Kajanlands och Lapplands ELY-centralen, Regionförvaltningsverket i Norra Finland, Kaivannaisteollisuus ry och Finlands miljöcentral. Publikationen är avsedd för verksamhetsidkare, tillstånds- och tillsynsmyndigheter samt konsulter inom branschen och kan användas när gruvverksamhet planeras, genomförs och avslutas.</p>		
Nyckelord	Metallmalmgruvor, bästa miljöpraxis, miljölagstiftning, utsläpp, miljökonsekvenser, gruvavfall, stängning av gruvor		
Finansiär/uppdragsgivare	Finlands miljöcentral (SYKE)		
	ISBN 978-952-11-3941-3 (hft.) Sidantal 213	ISBN 978-952-11-3942-0 (PDF) Språk Finska	ISSN 1238-7312 (print) Offentlighet Offentlig ISSN 1796-1637 (online) Pris (inneh. moms 8 %) 37 €
Beställningar/distribution	Edita Publishing Ab, PB 780, 00043 EDITA Kundtjänst: tfn + 358 20 450, fax +358 20 450 2380 Epost: asiakaspalvelu.publishing@edita.fi , www.edita.fi/publishing		
Förläggare	Finlands miljöcentral (SYKE), PB 140, 00251 Helsingfors Epost: neuvonta.syke@ymparisto.fi , www.miljo.fi/syke		
Tryckeri/tryckningsort och -år	Edita Prima Ab, Helsingfors 2011		

DOCUMENTATION PAGE

Publisher	Finnish Environment Institute (SYKE)	Date December 2011	
Author(s)	Päivi Kauppila, Marja Liisa Räisänen and Sari Myllyoja (Eds)		
Title of publication	Metallimalmikaivostoiminnan parhaat ympäristökäytännöt (Best environmental practices in metal mining operations)		
Publication series and number	The Finnish Environment 29/2011		
Theme of publication	Environmental Protection		
Parts of publication/ other project publications	The publication is available on the internet: www.ymparisto.fi/syke/publications		
Abstract	<p>Over the past few years, important new mines have been opened in Finland (Suurikuusikko, Talvivaara) while existing ones have upscaled their operations and new mining projects have been started. The mining industry produces the raw materials on which many other industries depend, including the metal, chemical and pulp and paper industries, as well as agriculture and a number of other sectors. Unavoidably, the metal ore mining has impacts on the environment. Prevention of negative environmental impacts calls for the application of BAT (Best Available Techniques) in the mining, starting from ore prospecting and mine planning and extending to mine closure - throughout the mine life cycle. This publication discusses the environmental aspects of metal ore mines throughout the mine life cycle, ranging from the relevant legislation, emissions and environmental impacts of the mining, to the required environmental surveys, methods and techniques used to decrease emissions and diminish environmental impacts. With Finnish conditions in focus, the publication proposes latest solution models for the best environmental practices for the metal ore mining. The publication is a joint project between the Geological Survey of Finland, the Kainuu and Lapland Centres for Economic Development, Transport and the Environment, the Regional State Administrative Agency for Northern Finland, the Finnish Association of Extractive Resources Industry and the Finnish Environment Institute. The publication is intended to use in planning, implementing and closing of the mines for operators and permit and supervisory authorities, as well as for consultants.</p>		
Keywords	Metal ore mines, best environmental practices, environmental legislation, emissions, environmental impact, mine waste, mine closing		
Financier/ commissioner	Finnish Environment Institute (SYKE)		
	ISBN 978-952-11-3941-3 (pbk.)	ISBN 978-952-11-3942-0 (PDF)	ISSN 1238-7312 (print)
	No. of pages 213	Language Finnish	ISSN 1796-1637 (online)
		Restrictions Public	Price (incl. tax 8 %) 37 €
For sale at/ distributor	Edita publishing Ltd. PO Box 780, FI-00433 EDITA Customer service: tel. +358 20 450 05, fax +358 20 450 2380 Mail orders: asiakaspalvelu.publishing@edita.fi , www.edita.fi/publishing		
Financier of publication	Finnish Environment Institute (SYKE), P.O.Box 140, 00251 Helsinki, Finland Email: neuvonta.syke@ymparisto.fi , www.environment.fi/syke		
Printing place and year	Edita Prima Ltd Helsinki 2011		

Metallimalmikaivostoiminnan parhaat ympäristökäytännöt julkaisu sisältää tietoa Suomen olosuhteisiin soveltuvista metallimalmikaivostoiminnan parhaista ympäristökäytännöistä (BEP) ottaen huomioon toimintaan ja ympäristöasioihin liittyvän lainsäädännön ja hallinnolliset menettelyt. Julkaisu on tarkoitettu sekä toiminnanharjoittajien, lupa- ja valvontaviranomaisten että alan konsulttien käytettäväksi kaivostoiminnan suunnittelussa, toteutuksessa ja toiminnan päättämisessä.



Myynti: Edita Publishing Oy
Asiakaspalvelu: PL 780, 00043 EDITA
puh. 020 450 05, faksi 020 450 2380
asiakaspalvelu.publishing@edita.fi
www.edita.fi/netmarket

ISBN 978-952-11-3941-3 (nid.)

ISBN 978-952-11-3942-0 (PDF)

ISSN 1238-7312 (pain.)

ISSN 1796-1637 (verkkoj.)

